



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação de Dashboard de KPI's de Manutenção na Fábrica da Siemens Gamesa

Trabalho de Projeto para a obtenção de grau de Mestre
em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos

Autor

Ivo Rafael Parada Sérgio

Orientador

Professor Doutor José Manuel Torres Farinha

Co-Orientador

Doutor Hugo David Nogueira Raposo

Supervisores na empresa Siemens Gamesa Renewable Energy S.A

Engº. Bruno da Cruz Almeida e Engº. João Nuno Ferreira Pinto

Coimbra, dezembro de 2023



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Resumo

O presente trabalho integra a unidade curricular Disserta33o/Projeto/Est3gio do Mestrado em Engenharia e Gest3o de Ativos F3sicos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, desenvolvido em ambiente empresarial na Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, empresa que produz p3s para turbinas e3licas.

Hoje em dia existe a necessidade de as empresas serem cada vez mais competitivas e eficientes, dado que isto exige um conhecimento e controlo rigorosos das suas atividades. A aplica33o de melhoria cont3nua nos diferentes processos e departamentos da organiza33o permite otimizar a realiza33o de opera33es, reduzir tempos de produ33o, redu33o de custos em materiais e m3o de obra, criar melhores condi33es de trabalho para os colaboradores, com o objetivo de manter ou melhorar a qualidade dos produtos.

A presente disserta33o tem como objetivo implementar um dashboard de indicadores de desempenho de manuten33o da f3brica, com o objetivo de diminuir as interven33es de ordem corretiva, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e fazer um acompanhamento mais rigoroso do parque de equipamentos.

Na primeira fase do projeto foram analisados os equipamentos a estudar e classificados de acordo com o seu grau de criticidade considerando fatores relativos 3 a sua utiliza33o e manuten33o. A classifica33o dos equipamentos permite distinguir os que causam maior impacto na produ33o, que colocam em causa a qualidade do produto final, a sua frequ3ncia de falhas, os tempos e custos que resultam da sua indisponibilidade. A segunda fase do projeto consistiu em retirar dados de funcionamento e hist3rico de manuten33es efetuadas a cada equipamento. A terceira fase do projeto consistiu na implementa33o de indicadores para monitoriza33o do estado dos equipamentos. Esses indicadores s3o transversais aos equipamentos estudados, os quais: MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), Disponibilidade, Taxa de avarias, Taxa horas homem de manuten33o corretiva e preventiva.

Os indicadores mencionados facilitam a defini33o de objetivos e planeamento de estrat3gias a aplicar pela gest3o, levando 3 redu33o do n3mero de paragens n3o programadas e consequentemente 3 redu33o dos tempos de indisponibilidade, aumentando a disponibilidade operacional do equipamento e a efici3ncia operacionais.

Palavras chave: Energia e3lica; Indicadores de Desempenho; Quadro de Bordo; Disponibilidade Operacional; Manuten33o de Ativos.

Abstract

This work is part of the Dissertation/Project/Internship course of the Master's Degree in Engineering and Management of Physical Assets at the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, developed in a business environment at Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, a company that produces blades for wind turbines.

Nowadays there is a need for companies to be increasingly competitive and efficient, as this requires rigorous knowledge and control of their activities. The application of continuous improvement in the different processes and departments of the organization makes it possible to optimize the performance of operations, reduce production times, reduce costs in materials and labor, create better working conditions for employees, with the aim of maintaining or improving the quality of the products.

This dissertation aims to implement a dashboard of factory maintenance performance indicators, with the aim of reducing corrective interventions, increasing equipment availability and more rigorously monitoring the equipment fleet.

In the first phase of the project, the equipment to be studied was analyzed and classified according to its degree of criticality, considering factors relating to its use and maintenance. The classification of equipment makes it possible to distinguish those that cause the greatest impact on production, which put at risk the quality of the final product, its frequency of failures, and the times and costs that result from its unavailability. The second phase of the project consisted of collecting operating data and history of maintenance carried out on each piece of equipment. The third phase of the project consisted of implementing indicators to monitor the condition of the equipment. These indicators are transversal to the equipment studied, which are: MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), availability, failure rate, man-hour rate of corrective and preventive maintenance.

The mentioned indicators facilitate the definition of objectives and planning of strategies to be applied by management, leading to a reduction in the number of unscheduled stops and consequently a reduction in downtime, increasing the operational availability of the equipment and operational efficiency.

Keywords: Wind Energy; Performance Indicators; Dashboard; Operational Availability; Asset Maintenance.

Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento 3 dirigido 3 minha fam3lia pelo apoio, confian3a e compreens3o em todas as situa33es, que resultaram n3o s3 na minha realiza33o acad3mica e profissional, mas tamb3m pessoal.

Ao Professor Doutor Torres Farinha e Professor Doutor Hugo Raposo que, com a sua disponibilidade, aten33o e preocupa33o, contribuíram para a realiza33o deste projeto.

A todos os docentes do mestrado de Engenharia e Gest3o de Ativos F3sicos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, que atrav3s da transmiss3o de conhecimentos e valores, contribuíram para este projeto e para o meu sucesso acad3mico.

3 a empresa Siemens Gamesa Renewable Energy, pela oportunidade de realizar projeto nas suas instala33es, com especial agradecimento ao Eng. Jo3o Pinto, Eng. Bruno Almeida e a toda a equipa de manuten33o pelo conhecimento e experi3ncias partilhadas, que contribuíram em grande parte para a realiza33o deste projeto.

Agrade3o tamb3m aos meus amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realiza33o deste trabalho, atrav3s do seu apoio e amizade.

Índice

1	Introdução	11
1.1	ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	11
1.2	ESTRUTURA DO RELATÓRIO	12
2	Estado da Arte	13
2.1	CONCEITO DE MANUTENÇÃO	13
2.2	TIPOS E ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	15
2.2.1	Manutenção Programada	15
2.2.2	Manutenção não Programada	16
2.2.3	Manutenção Condicionada	18
2.3	CURVA DA “BANHEIRA” OU CURVA DA MORTALIDADE	19
2.4	NÍVEIS DE MANUTENÇÃO	20
2.5	TPM - MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL	21
2.5.1	Oito Pilares do TPM	23
2.5.2	Manutenção Autónoma	26
2.5.3	OEE – Overall Equipment Efficiency	27
2.5.4	Fases para a implementação do TPM	28
3	Planeamento e Controlo da Manutenção	31
3.1	CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS	33
3.1.1	Critérios de avaliação da criticidade	34
3.2	ANÁLISE ABC	35
3.3	ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMECA)	37
3.3.1	Definição da estratégia de manutenção de ativos	38
3.4	RCM – MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE	40
4	Indicadores de Desempenho	43
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO	44
4.1.1	Taxa de Avarias	44
4.1.2	MTBF – Tempo médio entre avarias	45
4.1.3	MTTR – Tempo médio de restabelecimento	45
4.1.4	MWT – Tempo médio de espera	46
4.1.5	Disponibilidade	46
4.2	FATORES PARA CÁLCULO DE INDICADORES	48
4.2.1	Fatores de Tempo	48

4.2.2	Fatores de esforço HH	49
4.2.3	Fatores relacionados com custos.....	50
4.2.4	Custo do ciclo de vida	51
4.3	ORÇAMENTO DE MANUTENÇÃO	53
5	Balanced Scorecard.....	55
5.1	PERSPETIVA FINANCEIRA	55
5.2	PERSPETIVA DOS CLIENTES	55
5.3	PERSPETIVA DOS PROCESSOS INTERNOS.....	56
5.4	PERSPETIVA DA APRENDIZAGEM E CRESCIMENTO	56
6	Enquadramento Operacional.....	60
6.1	EMPRESA	60
6.2	TURBINAS EÓLICAS	62
6.3	FABRICO DAS PÁS DA TURBINA	64
6.3.1	Matéria prima	65
6.3.2	Processo de fabrico.....	67
7	Enquadramento ao Projeto	70
7.1	ESTRUTURA E CRITÉRIOS.....	70
7.2	ANÁLISE DE EQUIPAMENTOS	75
7.2.1	Grupo dos moldes	75
7.2.2	Grupo dos robots.....	79
7.2.3	Robot de inspeção de pás.....	81
7.2.4	Drilling machine.....	84
7.2.5	Máquinas de corte de fibra	86
7.2.6	Grupo das galáticas.....	88
7.2.7	Máquina chanfrar carbono – PCP machine.....	92
7.2.8	Sistema de desgasificação Isenthal	94
7.2.9	Pontes rolantes	96
7.3	EQUIPAMENTOS CLASSE B E C	100
8	Proposta de Melhorias	101
8.1	GRUPO DOS MOLDES	101
8.2	SISTEMA DESPOLIMENTO ROBOTIZADO	101
8.3	ROBOTS DE ULTRASSONS	102
8.4	GALÁTICAS	102
8.5	PONTES ROLANTES	102
9	Conclusão	103

Bibliografia.....	104
Anexos.....	106
ANEXO A – TABELA HH MANUTENÇÃO	106
ANEXO B – TABELA CUSTOS MANUTENÇÃO	107

Índice de Figuras

Figura 1 - Tipos de manutenção.....	15
Figura 2 - Curva da banheira e ciclo de vida dos equipamentos (adaptado de Lafraia, 2001)	19
Figura 3 - Os oito pilares do TPM (adaptado Ahuja & Khamba, 2008).....	23
Figura 4 - Métricas do OEE e respetivas perdas.....	28
Figura 5 - Fluxograma dos trabalhos de manutenção (adaptado de Cabral, 2021).....	32
Figura 6 - Fluxograma de criticidade dos ativos (Márquez et al, 2009).....	37
Figura 7 - Estratégia de manutenção de acordo com a categoria do ativo (adaptado Márquez et al, 2009).....	39
Figura 8 - Metodologia de implementação do RCM (T. Santos, 2018).....	41
Figura 9 - Iceberg de custos (Cabral, 2006).....	52
Figura 10 - Análise do custo do ciclo de vida (adaptado de Márquez et al, 2009).....	54
Figura 11 - As quatro perspetivas do BSC (Assis, 2014).....	56
Figura 12 - Estrutura de objetivos de uma organização (Assis, 2014).....	59
Figura 13 - Instalações fabris da Siemens Gamesa em Vagos.....	61
Figura 14 - Constituição de uma turbina eólica (adaptado de Jiang et al., 2017).....	63
Figura 15 - Pá representada em vista explodida (Fonte: Siemens Gamesa).....	64
Figura 16 - Representação das fibras usadas: a) Fibra unidirecional; b) Fibra biaxial; c) Fibra de carbono; d) Manta.....	65
Figura 17 - Disposição das várias camadas de fibra no molde.....	66
Figura 18 - Bobines de carbono Pultrudido.....	67
Figura 19 - Layout da fábrica (Fonte: Siemens Gamesa).....	69
Figura 20 - Quadro semanal de manutenção de equipamentos (Fonte: Siemens Gamesa).....	73
Figura 21 - Custo anual dos moldes.....	76
Figura 22 - Dashboard molde SG145 M6 SS.....	77
Figura 23 - Dashboard molde SG155 M2 SS.....	78
Figura 24 - Dashboard molde SG170 M1 SS.....	78
Figura 25 - Custo anual célula de corte robotizada.....	79
Figura 26 - Dashboard da célula de corte robotizada.....	80
Figura 27 - Custo anual sistema despolimento robotizado.....	80
Figura 28 - Dashboard do sistema despolimento robotizado.....	81
Figura 29 - Vista lateral e painel de comando do robot de ensaios "Kuka".....	82
Figura 30 - Dashboard Robot UT 1.....	83
Figura 31 - Dashboard Robot UT 2.....	83
Figura 32 - Custo anual robot ultrassons.....	84
Figura 33 - Custo anual drilling machine.....	85
Figura 34 - Dashboard drilling machine.....	85
Figura 35 - Drilling machine.....	86

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

Figura 36 - Máquina corte de fibra	87
Figura 37 - Custo anual máquinas corte de fibra	87
Figura 38 - Dashboard máq. corte VT TT IX 100	88
Figura 39 - Dashboard máq. corte FX	88
Figura 40 - Custo anual Galáticas	90
Figura 41 - Galática	90
Figura 42 - Dashboard Galática SG 155	91
Figura 43 - Dashboard Galática SG170	91
Figura 44 - Dashboard Galática SG170 HAWART	91
Figura 45 - Dashboard Galática SG 145	92
Figura 46 - Custo anual máq. chanfrar carbono.....	93
Figura 47 - Dashboard máq. chanfrar carbono ABI	93
Figura 48 - Dashboard máq. chanfrar carbono Eltronic	94
Figura 49 - Sala de desgasificação Isenthal	94
Figura 50 - Custo anual desgasificação Isenthal.....	96
Figura 51 - Dashboard desgasificação Isenthal	96
Figura 52 - Custo anual pontes rolantes.....	97

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Etapas da Manutenção Autônoma (Cabral, 2006).....	26
Tabela 2 - Etapas da implementação do TPM (Ahuja & Khamba, 2008)	29
Tabela 3 - Critérios de avaliação da criticidade de equipamentos (adaptado Baran et al, 2013)	35
Tabela 4 - Critérios e parâmetros de classificação da criticidade	36
Tabela 5 - Indicadores técnicos de manutenção	47
Tabela 6 - Características dos projetos	61
Tabela 7 - Classificação de equipamentos	71
Tabela 8 - Indicadores de desempenho dos moldes.....	75
Tabela 9 - Indicadores de desempenho equipamentos robotizados	79
Tabela 10 - Indicadores de desempenho drilling machine.....	84
Tabela 11 - Indicadores de desempenho máq. corte de fibra.....	86
Tabela 12 - Indicadores de desempenho Galáticas	89
Tabela 13 - Indicadores de desempenho máq. chanfrar carbono.....	92
Tabela 14 - Indicadores de desempenho Isenthal	95
Tabela 15 - Custo manutenção pontes rolantes ano 2022.....	98
Tabela 16 - Custo manutenção pontes rolantes ano 2023.....	99
Tabela 17 - Equipamentos classe B e C.....	100

Lista de Abreviaturas

AGV	Automated Guided Vehicle
CAPEX	Capital Expenditure
EUA	Estados Unidos da América
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
HH	Horas Homem
JIPM	Japan Institute of Plant Maintenance
KPI	Key Performance Indicator
LCC	Life Cycle Cost
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
MWT	Mean Waiting Time
NDT	Non destrutive Test
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OM	Objeto de manutenção
OPEX	Operating Expenditure
OT	Ordem de trabalho
PLC	Programmable Logic Controller (Programador lógico programável)
PS	Pressure side
RCM	Reliability Centered Maintenance
RPN	Risk Priority Number
SS	Suction side
STD	Standard
TPM	Total Productive Maintenance
Tg	Temperatura de Transição Vítreá
UT	Ultrassons

1 Introdução

1.1 Enquadramento e objetivos

A energia eólica é uma fonte de energia renovável, proveniente do aproveitamento da energia cinética do vento, que faz rodar as pás de uma turbina. O giro das pás por sua vez, faz girar um eixo acoplado a um gerador elétrico que transforma energia mecânica em energia elétrica, injetada para a rede. Sendo esta uma energia renovável, é praticamente inesgotável, não produz emissões significativas de gases de efeito de estufa e reduz a independência de energia proveniente de fontes de combustíveis fósseis.

O processo de produção de pás eólicas consiste na união através de cola e resina de várias peças formadas por materiais compósitos. As pás são fabricadas para serem o mais leves possível, mas com a resistência e rigidez necessárias para resistirem às condições de funcionamento e ambientais que lhe são impostas.

O projeto foi realizado com a estreita colaboração do departamento de manutenção, colaboradores da produção e outros intervenientes do chão de fábrica.

Consistiu nos seguintes pontos:

1. Identificação dos equipamentos críticos;
2. Definição de indicadores de desempenho;
3. Filtragem de dados de manutenção para cada equipamento;
4. Definição do dashboard de indicadores;
5. Estudo do fluxo das peças de reserva.

O objetivo principal do projeto foi a implementação de um dashboard de indicadores de desempenho, com o intuito de facilitar a análise e monitorização do estado dos equipamentos pela gestão da manutenção, através da visualização de gráficos e tabelas de dados. Esta informação auxilia a gestão na tomada de decisões.

A implementação do dashboard tem como metas:

- Aumentar a transparência na comunicação de resultados;
- Reduzir o tempo de deteção de situações críticas;
- Eliminar o tempo despendido no tratamento de informação.

1.2 Estrutura do relat3rio

Este trabalho 3 constitu3do por nove cap3tulos, que podem ser descritos da seguinte forma:

No **cap3tulo 1** - 3 o cap3tulo onde se encontra a introdu3o, onde 3 feito o enquadramento ao tema e s3o enunciados os objetivos a atingir.

O **cap3tulo 2** - diz respeito 3 revis3o bibliogr3fica /estado da arte da manuten3o, metodologias usadas e fatores que condicionam a atividade de manuten3o.

O **cap3tulo 3** - 3 relativo 3 classifica3o de equipamentos de acordo com a sua criticidade consoante os crit3rios definidos.

No **cap3tulo 4** - s3o apresentados os indicadores de desempenho t3cnicos, econ3micos e organizacionais. S3o mencionados os custos da atividade de manuten3o, custo do ciclo de vida do equipamento, e outros fatores importantes.

O **cap3tulo 5** - 3 dedicado 3 aplica3o do quadro de bordo e das quatro perspetivas que lhe s3o adjacentes em contexto de empresa.

No **cap3tulo 6** - 3 apresentada a empresa onde foi realizado o projeto, a constitui3o de uma turbina e3lica e o processo de fabrico das p3s.

No **cap3tulo 7** - s3o explicadas as v3rias vari3veis do projeto, realizada a an3lise dos indicadores calculados para cada equipamento para o per3odo de janeiro de 2022 a junho de 2023.

O **cap3tulo 8** - faz refer3ncia 3s melhorias a realizar aos equipamentos, de forma a aumentar a disponibilidade operacional.

O **cap3tulo 9** - 3 o cap3tulo onde constam as conclus3es deste trabalho de projeto.

2 Estado da Arte

2.1 Conceito de manutenção

A manutenção é hoje em dia uma das áreas mais importantes e fundamentais da indústria. Os objetivos da manutenção estão diretamente interligados aos objetivos da empresa, já que a manutenção afecta a rentabilidade da produção, nas vertentes da qualidade do produto, do custo ou do volume que se deseja produzir.

Entende-se por manutenção o conjunto de ações que têm por finalidade executar as operações necessárias para que os equipamentos sejam mantidos ou restabelecidos, no caso de avaria, num estado em que possam executar a função requerida, para a qual foram projectados, por um custo global otimizado (Pereira & Sena, 2016).

Segundo Cabral, manutenção “é o conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem o seu rendimento. No caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, a um custo global otimizado” (Cabral, 2021).

De acordo com a norma NP EN 13306:2017, “manutenção é a combinação das 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 possa executar a função requerida”. Entende-se por bem qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional, equipamento ou Sistema que possa ser considerado individualmente.”

“Manter contém a noção de prevenir e repor refere-se à noção de corrigir. A função requerida de um bem é a função ou conjunto de funções consideradas necessárias para a prestação de um dado serviço. Assim, a manutenção é uma atividade que exige a combinação da engenharia e da gestão para a sua implementação e exploração. Embora a definição de manutenção pela norma não mencione os seus custos, refira-se a necessidade de comparar continuamente o investimento inicial do bem com os custos de operação e de manutenção” (Pereira & Sena, 2016).

“A manutenção é geralmente aplicada antes da avaria do bem, sendo iniciada na conceção e desenvolvimento do bem. É durante o desenvolvimento do bem que a manutibilidade, fiabilidade, disponibilidade e durabilidade devem ser predeterminadas” (Pereira & Sena, 2016).

A função do serviço de manutenção começa no apoio técnico após a aquisição do bem, participando depois na montagem e na colocação do bem em serviço. A missão do serviço de manutenção deverá assumir três particularidades: vigilância permanente do estado do bem, efetuar as reparações e ações preventivas necessárias, recolha e tratamento de dados de manutenção para incluir no histórico de manutenção do equipamento (Pereira & Sena, 2016).

A gestão da manutenção vai de encontro ao cumprimento dos objetivos da manutenção e aos objetivos globais da empresa. A gestão da manutenção permite manter os equipamentos operacionais, obtendo a sua disponibilidade máxima, com o compromisso de não aumentar drasticamente os custos de funcionamento. O papel dos gestores é encontrar o ponto de equilíbrio entre os benefícios e os custos, de forma a manter a rentabilidade da empresa.

Os gestores de manutenção devem aplicar no seu dia a dia várias disciplinas que são intrínsecas à atividade de manutenção, das quais passo a citar:

- Conceitos gerais de manutenção
- Planeamento
- Gestão do pessoal
- Engenharia geral dos equipamentos
- Lubrificação
- Calibração de instrumentos
- Gestão de materiais
- Técnicas de manutenção
- Programas de gestão (exemplo: SAP ERP, Man Win Win, etc)

A qualidade da gestão é determinada pelas ações do gestor e pela capacidade técnica dos técnicos que prestam serviços de manutenção. Em caso de ocorrência de falhas sistemáticas em alguma das áreas da actividade de manutenção, poderá refletir-se negativamente na eficácia da gestão, colocando em risco a rentabilidade dos ativos da produção.

2.2 Tipos e estratégias de manutenção

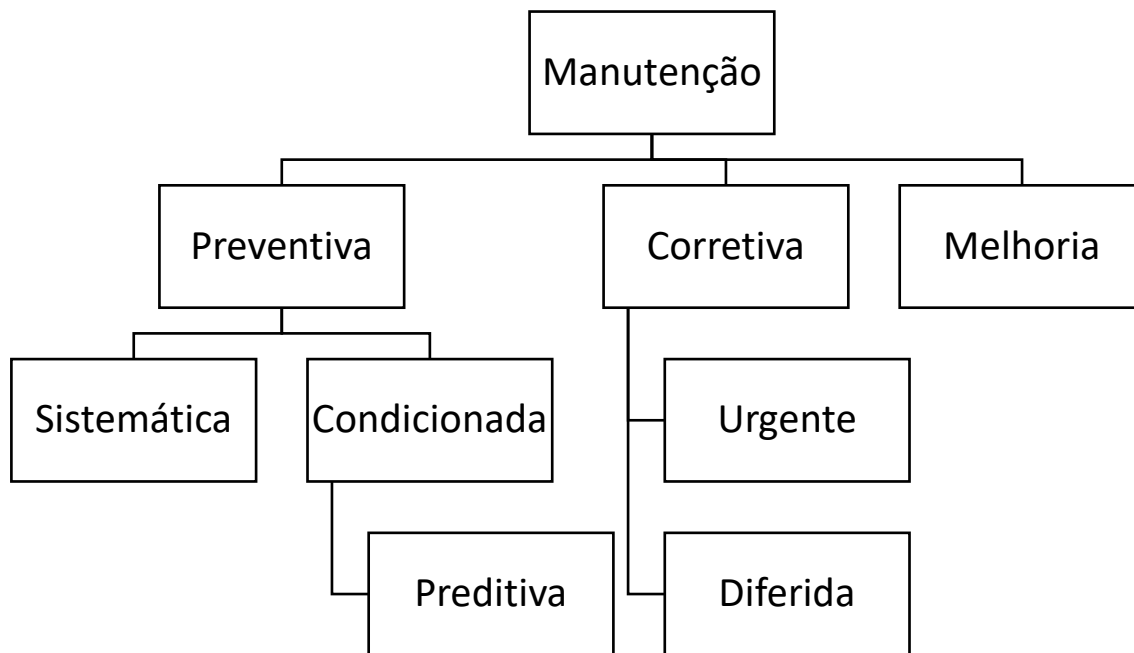


Figura 1 - Tipos de manutenção

2.2.1 MANUTENÇÃO PROGRAMADA

Podemos classificar as práticas de manutenção em dois tipos: manutenção programada e não programada. Segundo a norma europeia EN13306, a manutenção programada é realizada de acordo com um calendário predefinido ou de acordo com um número definido de unidades de utilização (horas, quilómetros, nº de ciclos, nº de peças fabricadas, etc).

De acordo com Cabral (2016), quando falamos em manutenção planeada, estamos a falar de trabalhos previsíveis, cuja sucessão de tarefas e recursos podem ser previstos antecipadamente. A reparação de uma avaria pode ser, ou não, planeada, dependendo dos casos. Por exemplo, a reparação de uma fuga de óleo num órgão de um equipamento, pode ter já um procedimento, onde estão especificados os passos a seguir para reparar a dita fuga. A reparação de uma estrutura, por exemplo, requiere que seja feito um levantamento dos danos da mesma. As intervenções preventivas e de melhoria são consideradas programadas, sendo em regra os trabalhos planeados. As intervenções corretivas são classificadas como não programadas e as reparações poderão ser planeadas ou não (Cabral, 2021).

A manutenção preventiva é realizada com o objetivo de evitar avarias, perda ou redução da função. Pode ser desencadeada das seguintes formas:

Manutenção Preventiva Sistemática: a intervenção de manutenção é aplicada a partir de intervalos predefinidos de tempo de calendário ou de acordo com um número definido de unidades de utilização (horas, quilómetros, nº de ciclos, etc), sem controlo prévio do estado do bem.

Manutenção Preventiva Condicionada: este tipo de manutenção é aplicada quando há indícios de falha iminente ou aproximação de um grau de degradação predeterminado. Os dados são obtidos através de inspeção/controlo de funcionamento do equipamento.

Ex. Substituição de rolamentos que manifestaram um ruído anormal em funcionamento.

Manutenção Preditiva: manutenção condicionada tendo como base a análise e avaliação de parâmetros significativos de degradação do estado do bem. Logo, a manutenção preditiva está reservada a uma análise global baseada em observações repetitivas do comportamento do bem em funcionamento. A análise do estado do óleo de um motor, permite saber se este apresenta as condições necessárias para uma lubrificação eficaz. Quando começa a ficar muito degradado, deve ser substituído para evitar o desgaste prematuro ou mesmo a gripagem do motor.

Manutenção de Melhoria: tipo de manutenção que visa melhorar o desempenho do equipamento, identificando possíveis alterações que contribuem para o melhor funcionamento do equipamento. Alguns domínios de melhoria: equipamentos que incrementam o rendimento, poupança de energia, redução de emissões e ruído, monitorização e controlo, reduzir necessidade de manutenção, etc.

2.2.2 MANUTENÇÃO NÃO PROGRAMADA

Inversamente à manutenção programada, a não programada não é realizada pelo método de calendário, ou seja, é uma manutenção não previsível.

Manutenção Corretiva: é realizada após uma avaria ou perda de função, com o objetivo de repor o bem num estado em que possa realizar a função requerida. Pode ser aplicada das seguintes formas:

Corretiva de urgência (imediate) – a reparação tem que ser efetuada de imediato para que o equipamento possa desempenhar a função requerida.

Corretiva diferida – a reparação pode ser adiada, dentro de certos limites, sendo programada para uma data conveniente.

Conceito de Avaria

De acordo com a Norma Europeia EN 13306 “avaria é a cessação da aptidão de um bem para cumprir uma função requerida”. O estado de avaria é definido como o estado em que o equipamento se encontra inoperacional, não reunindo as condições de segurança necessárias para desempenhar a função requerida.

Manutibilidade

Consiste na maior ou menor dificuldade em manter ou repor o bem num estado em que possa cumprir uma função requerida, depois de lhe ser aplicada manutenção sob determinadas condições, utilizando procedimentos e meios prescritos (Cabral, 2006).

Segundo Assis (2014) a manutibilidade é considerada um parâmetro de design do sistema, que é expressa em termos de:

Frequência de manutenção – probabilidade de um sistema não necessitar de manutenção mais do que x vezes num certo período, em condições de operação pré-estabelecidas;

Tempo de manutenção – probabilidade de um sistema ser repostado em condições de funcionamento num intervalo de tempo, quando a manutenção é realizada em condições de trabalho pré estabelecidas;

Custo de manutenção – probabilidade do custo da manutenção de um sistema não exceder um valor estabelecido, quando o mesmo é operado e mantido em condições pré definidas.

Fiabilidade

Traduz a frequência com que um sistema irá falhar. Resulta da conceção e da qualidade de construção do sistema (características intrínsecas) e, por outro lado, das condições de carga e ambientais a que está sujeito no decorrer da sua operação (características extrínsecas).

A Fiabilidade pode ser definida como:

“A probabilidade de um órgão funcionar satisfatoriamente (ou cumprir a função requerida) durante um certo intervalo de tempo, sob condições especificadas” (Assis, 2014, as cited in Moubray, 1992).

A fiabilidade de um equipamento é determinada nas fases de projeto e de fabrico. Durante a fase de concepção, são geralmente definidas as dimensões, materiais e o design do equipamento. Já no decorrer da fase de fabrico, é avaliada a qualidade dos materiais e os processos utilizados. Na fase de exploração do equipamento, a fiabilidade só poderá ser melhorada substituindo componentes por outros mais fiáveis ou fazendo alterações ao processo de fabrico. A fase de exploração permite selecionar a política de manutenção que melhor se adequa às condições de funcionamento do equipamento e assim minimizar as consequências de paragens não programadas (Assis, 2014).

2.2.3 MANUTENÇÃO CONDICIONADA

A manutenção baseada na condição é tipicamente utilizada, recorrendo ao método de vigilância do funcionamento dos equipamentos. O uso da inspeção visual e da lubrificação são técnicas que são usadas diariamente pelos operadores da máquina e pela manutenção de 2º nível. São utilizadas técnicas específicas de diagnóstico, de acordo com o tipo de equipamento que se pretende diagnosticar, das quais:

- Controlo dos parâmetros de funcionamento;
- Termografia;
- Análise de vibrações;
- Análise de tendência – definição de parâmetros indicadores de condição;
- Inspeção ao detalhe (inclui desmontagem, verificação de componentes, etc);
- Análise de óleos.

A aplicação de manutenção condicionada tem como vantagens:

- Aumento da disponibilidade dos equipamentos, permitindo a extensão do tempo entre revisões programadas;
- Redução dos custos de manutenção, sendo uma consequência do aumento do tempo de serviço;
- Maior eficiência na gestão das instalações, permitindo regular o volume de produção com as condições das instalações, atingindo um nível de qualidade fixo;
- Redução das perdas de produção;
- Permite efetuar melhorias a instalações existentes e ajuda na projeção de novas instalações;

- Aumenta a segurança do operador – o controlo de condição permite parar as máquinas antes de estas atingirem um estado crítico.

2.3 Curva da “banheira” ou curva da mortalidade

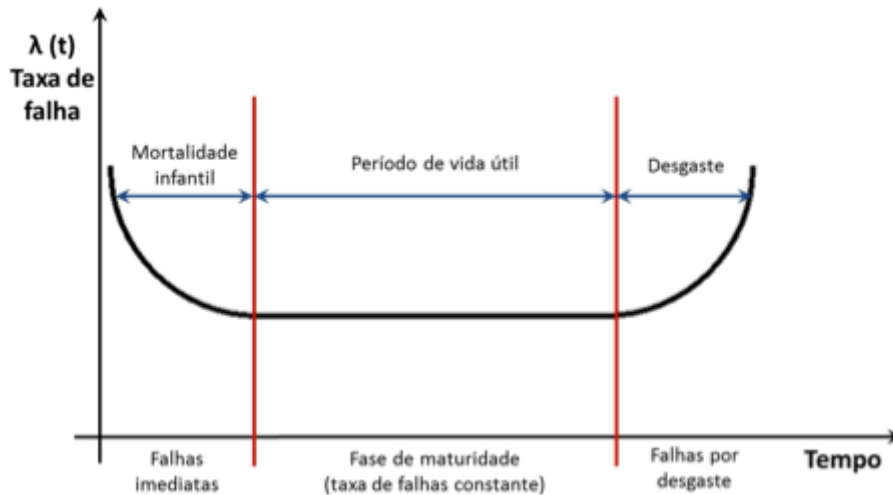


Figura 2 - Curva da banheira e ciclo de vida dos equipamentos (adaptado de Lafraia, 2001)

A análise do comportamento da taxa de avaria de um equipamento ao longo do tempo pode ser representada por uma curva que possui a forma de uma banheira, designada por curva da banheira.

A curva da banheira representa as fases de vida características de um sistema: mortalidade infantil ou período de comissionamento, fase de maturidade ou vida útil e a fase de degradação ou desgaste.

A fase de comissionamento ou fase de rodagem é onde se verifica uma taxa de avarias elevada, devido a causas intrínsecas ao equipamento das quais: erros de projeto, defeitos de fabrico, instalação/montagem incorreta, rodagem deficiente, mão de obra desqualificada, entre outras. As reparações realizadas nesta fase, têm como objetivo eliminar componentes frágeis à medida que são detectados erros de projeto ou de instalação.

Nesta fase, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, melhorando o equipamento, para que a falha não se repita. A taxa de avarias tende a diminuir com o tempo.

Na fase de vida útil ou período de maturidade, verifica-se que a taxa de avarias estabiliza num valor quase constante. Neste período as falhas têm origem extrínseca, podendo ser causadas por acidentes, mau uso ou uso inadequado e por falhas aleatórias. As falhas aleatórias podem dever-se a solicitações que ultrapassam a capacidade para a qual o equipamento foi projetado, das quais: carga, pressão e temperatura.

Tamb m podem existir problemas externos de alimenta o el ctrica, vibra es, impactos mec nicos, varia es de temperatura, entre outras. Todas estas causas contribuem para a degrada o da fiabilidade. A melhor estrat gia de manuten o a usar nesta fase   a preditiva, visto que consiste na monitoriza o do equipamento afim de detetar o in cio da fase de desgaste.

Por fim, a fase de degrada o ou de envelhecimento   caracterizada pelo desgaste dos componentes, corros o, fadiga, deteriora o mec nica, el ctrica ou qu mica, manuten o insuficiente, entre outras. O per odo de degrada o da m quina/equipamento pode ser evitado se os componentes forem substituídos preventivamente antes de atingir a fase de envelhecimento. A manuten o deve tra ar um plano de inspe o e manuten o que detecte o in cio da fase de desgaste e se aplique uma a o preventiva, de forma a aumentar a vida  til do equipamento e a sua fiabilidade (Assis, 2014).

2.4 N veis de manuten o

Segundo a norma europeia EN 13306:2017, a presta o de servi os de manuten o pode ser dividida em cinco n veis, de acordo com os seguintes factores (Amaral, 2016):

- Natureza e complexidade dos trabalhos a realizar;
- Local da interven o;
- Meios humanos e materiais requisitados;
- Documenta o necess ria.

N vel 1 – actividades simples que consistem em afina es/verifica es previstas pelo construtor, sem necessidade de desmontagem da m quina/equipamento. Este tipo de trabalhos   realizado pelo operador do equipamento.

N vel 2 – consiste em pequenas repara es de componentes que requerem manuten o preventiva, tais como lubrifica o/controlo do funcionamento do equipamento. Este trabalho   realizado por pessoal qualificado, seguindo procedimentos espec ficos.

N vel 3 – consiste na realiza o de trabalhos complexos que englobam diagn stico, localiza o e repara o de avarias de acordo com procedimentos espec ficos. Devem ser realizados por t cnicos especializados.

N vel 4 – este patamar de manuten o engloba os trabalhos de manuten o corretiva ou preventiva, com exce o de repara o geral/renova o do equipamento. S o actividades que exigem conhecimentos t cnicos ou tecnologias espec ficas, realizados por equipas e t cnicos especializados.

Nível 5 – compreende a renovação/reconstrução, que implica a desmontagem total do equipamento. Este tipo de atividade requer equipas multidisciplinares, com conhecimentos ao nível do fabricante do equipamento ou subcontratação de técnicos especializados com equipamento específico de suporte.

2.5 TPM - Manutenção Produtiva Total

Manutenção produtiva total (sigla TPM – Total Productive Maintenance) é um conceito que nasceu no Japão na década de 70, tendo sido originado pela implantação da técnica produtiva de KanBan na empresa Nippon Denso, detida pela Toyota. Hoje em dia o TPM é uma marca do Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM), utilizada em vários países do mundo. O seu propósito principal é incluir a produção na realização de actividades de manutenção e inspeção, pelo facto do operador ser quem melhor conhece a máquina e ser a pessoa mais indicada para apontar os defeitos de funcionamento e evitar que ocorram avarias (Cabral, 2006).

O programa TPM é baseado nos cinco pressupostos abaixo:

1. Estabelecer objetivos que maximizem a eficácia da instalação;
2. Estabelecer um sistema global de manutenção produtiva que cubra integralmente o ciclo de vida da instalação;
3. Obter o envolvimento de todos os departamentos, tais como, de planeamento, de operações e de manutenção;
4. Obter a participação de todos, desde os operacionais de chão de fábrica até aos quadros superiores;
5. Reforçar a motivação dos colaboradores, criando pequenos grupos autónomos de manutenção produtiva.

O TPM tem como principal objetivo a redução das falhas, defeitos, perdas e desperdícios nos equipamentos, com a finalidade de maximizar a eficácia operacional das instalações e equipamentos. A abordagem TPM leva, assim à redução das paragens por avaria, acidentes, falta de peças de reserva, setup de ferramenta, manutenção planeada, falta de matéria prima, etc. “Uma fábrica é composta por duas partes distintas: uma visível, que produz produtos com qualidade, e a outra invisível, que só produz perdas. Seguindo este raciocínio, pode dizer-se que o TPM é a técnica que permite transformar a parte invisível em visível, através da eliminação de todas as perdas” (Cabral, 2006).

Neste contexto, a análise dos principais componentes/orgãos dos equipamentos, resultam na redução de seis grandes fontes de perdas de produção, que são (Cabral, 2006):

1. Avarias/falhas – geram paragens acidentais;
2. Paragens devido a mudança de produto – set up ferramenta;
3. Microparagens e funcionamento sem carga;
4. Quebras de velocidade e aumento do tempo de ciclo;
5. Defeitos de qualidade do produto;
6. Arranque da máquina.

Nakajima (1989), foi uma entidade importante que contribuiu para o desenvolvimento do TPM. Definiu o TPM como um método inovador para a abordagem de manutenção, que otimiza a eficácia do equipamento, elimina avarias e promove a manutenção autónoma pelos operadores através das atividades diárias, envolvendo a força de trabalho total (Baran et al, 2013).

O TPM reforça a importância do envolvimento dos operadores, afim de lhe dar conhecimento e competências para executar operações básicas de manutenção, o que permite que o equipamento seja mantido no melhor nível de desempenho. A condição das máquinas e equipamentos tem um impacto significativo nos resultados da produção e é um aspecto fundamental na gestão da qualidade. Estas condições podem ser asseguradas promovendo entre os operadores de máquinas um sentimento de responsabilidade pelo equipamento e pelo local de trabalho. Esta é uma das principais tarefas da filosofia TPM. O elemento chave é a participação de todos os departamentos, para antecipar e prever as falhas. O estabelecimento de uma relação de sinergia entre a produção e a manutenção, contribui para que haja uma interação benéfica para ambos, aumentando o conhecimento do operador pelo equipamento e facilitando o diagnóstico à manutenção (Baran *et al*, 2013).

2.5.1 OITO PILARES DO TPM

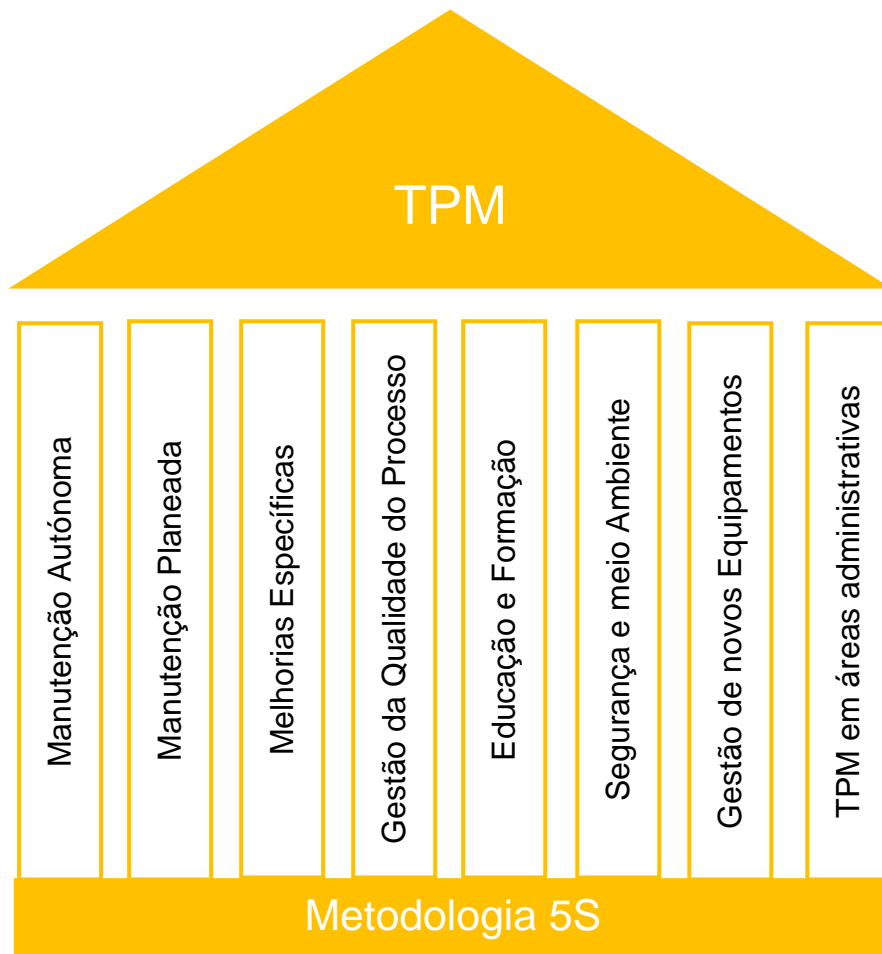


Figura 3 - Os oito pilares do TPM (adaptado Ahuja & Khamba, 2008)

A manutenção produtiva total está estruturada em 8 pilares sendo que cada pilar tem um significado específico. A definição de cada pilar varia conforme os requisitos e objetivos da empresa. O modelo inicialmente proposto por Nakajima era constituído por cinco pilares. O JIPM apresentou um modelo constituído por oito pilares, conforme o representado na figura 3.

Manutenção Autônoma

A manutenção autônoma consiste na manutenção de 1º nível realizada pelos operadores, que executam atividades básicas de manutenção, como a limpeza, lubrificação, inspeção, reaperto e ajustes ao equipamento, antecipando potenciais avarias e aumentando a eficácia do equipamento (Gupta & Garg, 2012).

Os técnicos de manutenção devem formar os operadores e fornecer-lhes apoio técnico bem como definir as normas de limpeza, inspeção e lubrificação dos equipamentos, de modo a garantir a uniformização das tarefas para manter os equipamentos nas condições ótimas de funcionamento.

Manutenção Planeada

Tem como objetivo garantir a ausência de falhas e defeitos. O objetivo é atingir o patamar “zero avarias”, melhorar a fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos. A manutenção planeada é uma manutenção proativa, que previne a ocorrência de avarias, aumentando a disponibilidade do equipamento.

Melhorias Específicas

Tem como objetivo identificar as perdas mais significativas ao nível do processo e dos equipamentos, com a implantação de melhorias que possam reduzir o número de avarias e paragens no processo produtivo. Estas melhorias são realizadas por equipas multidisciplinares compostas por elementos de diversas áreas da organização, tendo como objetivo reduzir as perdas identificadas anteriormente, visando zero falhas, zero defeitos e zero desperdícios no funcionamento dos equipamentos.

Gestão da Qualidade do Processo

Tem como objetivo eliminar as perdas relacionadas à qualidade do produto acabado, através da definição de parâmetros de processo que possibilitem o fabrico de produtos com zero defeitos, verificando regularmente se as condições de projeto estão de acordo com as condições operacionais. É necessário excluir os defeitos que provoquem perda de qualidade no produto final. Este pilar é essencial para garantir a qualidade em todo o processo produtivo.

Educação e Formação

Tem como objetivo elevar o nível de competências técnicas dos colaboradores de manutenção e produção, através de formação específica, permitindo a execução da manutenção sem risco de erros e um melhor controlo operacional.

Saúde, Segurança e Meio Ambiente

Este pilar procura garantir o estado de zero acidentes, zero doenças ocupacionais e zero acidentes ambientais no posto de trabalho. Portanto, o local de trabalho deve ser um ambiente bem iluminado, arejado e arrumado, com todas as medidas de segurança para evitar acidentes e garantir a gestão adequada de todo o material, para que o ambiente não seja prejudicado. Devem ser estabelecidos modelos e regras que estejam de acordo com os regulamentos legais atuais do setor em questão.

Gestão de novos equipamentos

Este pilar consiste em ajustes e melhorias contínuas aplicadas aos equipamentos e componentes da máquina, a fim de prevenir variações no funcionamento, minimizando as paragens da produção, criando assim processos estáveis com qualidade padronizada e atenção especial às características consideradas importantes pelo cliente.

TPM em áreas administrativas

O TPM aplicado à administração considera o envolvimento total dos acionistas da empresa. Os técnicos especializados no processo, especificam o tipo de equipamentos necessários, os técnicos de manutenção estabelecem as estratégias de manutenção mais eficientes, os operadores de máquinas cumprem a correta utilização dos equipamentos. É estabelecida a estratégia mais eficaz para a gestão das peças críticas, bem como um trabalho nas condições requeridas.

Os 8 pilares estão assentes na metodologia 5S, o que significa que para haver uma concordância do processo, devem existir práticas que reduzam o desperdício, promovam a limpeza, organização e disciplina no local de trabalho. A metodologia 5S é representada por cinco princípios que começam pela letra S: Seiri – Seleção ou Triagem; Seiton – Organização ou arrumação; Seiso – Limpeza; Seiketsu – Padronização; Shitsuke – Autodisciplina (Gupta & Garg, 2012).

Seleção ou triagem: ajuda a distinguir os objetos que são necessários na área de trabalho daqueles que não são efetivamente necessários. Permite organizar a zona de trabalho, dando prioridade aos objetos que são usados com maior frequência, ou seja, diariamente. Esses objetos devem estar expostos de forma que sejam de fácil acesso ao operador.

Organização: os objetos devem ser arrumados num local predefinido. O local, posição ou suporte correto para cada ferramenta, item ou peça deve ser escolhido tendo em atenção o tipo de trabalho e ambiente. Devem ser de fácil identificação e ser arrumados consoante a sua prioridade de utilização.

Limpeza: um local limpo e bem arrumado é benéfico para que os colaboradores consigam executar qualquer tipo de trabalho no menor tempo possível.

Padronização: permite que as atividades ou procedimentos estejam padronizados, de forma que sejam sempre executados da mesma forma, levando sempre ao resultado esperado. Os procedimentos e normas devem ser cumpridos na íntegra pelos colaboradores.

Autodisciplina: o cumprimento destes princípios básicos impulsiona o aumento da produtividade das equipas e a sua coesão, de forma a que haja uma melhoria contínua no comportamento das pessoas e na forma de execução dos trabalhos.

2.5.2 MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

A manutenção autónoma é o pilar que mais se distingue do TPM. O operador deve prestar os cuidados básicos de manutenção à máquina. Segundo Cabral, a manutenção autónoma é descrita por sete etapas conforme a tabela seguinte.

Tabela 1 - Etapas da Manutenção Autónoma (Cabral, 2006)

Etapas	Denominação	Atividade
1ª	Limpeza inicial	Eliminar as sujidades que se formam no equipamento, bem como a deteção de inconveniências e sua reparação.
2ª	Medidas de combate contra fontes de sujidade e locais de difícil acesso	Efetuar melhorias quanto a fontes de sujidade, prevenção contra derrames e locais de difícil limpeza e lubrificação.
3ª	Elaboração de normas de limpeza e lubrificação	Efetuar normas de limpeza de forma a reduzir o tempo para as operações de limpeza e lubrificação.
4ª	Inspeção geral	Deteção de falhas no equipamento através de inspeções periódicas.
5ª	Inspeção Autónoma	Elaborar e executar a folha de manutenção autónoma.
6ª	Organização	Padronizar tarefas de controlo de manutenção e do local de trabalho
7ª	Consolidação	Desenvolver as diretrizes e as metas e executar regularmente o registo de atividades de melhoria.

2.5.3 OEE – OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY

A eficácia geral do equipamento, mais conhecida por OEE (Overall Equipment Efficiency), foi inicialmente usada por Seiichi Nakajima para descrever uma das principais ferramentas de medição da performance da produção. O OEE vai de encontro à metodologia TPM que visa a melhoria contínua da qualidade do produto, da eficiência operacional, disponibilidade operacional e segurança dos colaboradores. O OEE pode ser usado para medir a eficiência de uma linha de produção, máquina produtiva ou medir a eficiência de algumas secções de uma fábrica (Nakajima, 1998). Este indicador está focado no desperdício zero, de forma a eliminar quaisquer perdas de eficácia, disponibilidade e desempenho.

As seis grandes perdas que podemos ter numa linha de produção focam-se em:

- Falhas/avarias
- Set up/afinações da máquina
- Microparagens
- Perdas de velocidade
- Perdas por arranque da máquina
- Perdas de produção por defeitos/retrabalho

O OEE é calculado considerando três métricas de performance: disponibilidade, desempenho e qualidade. Estas métricas ajudam a identificar as perdas de produtividade que ocorrem dentro do processo produtivo (Rajput & Jayaswal, 2014).

As três métricas do OEE são apresentadas abaixo (Assis, 2014):

Disponibilidade: Indica o tempo efetivo de produção relativamente ao tempo de disponibilidade total. A disponibilidade é reduzida por falhas/avarias do equipamento, mudanças de produto, afinações da máquina, entre outras;

Desempenho: Indica a eficiência do processo de fabrico. Este factor é afetado pelas microparagens e/ou cadência reduzida devido a períodos de espera de material, aumento do tempo de ciclo de máquina, entre outras;

Qualidade: Indica a quantidade de produtos que cumprem os requisitos, relativamente à quantidade produzida total. As perdas de qualidade devem-se a erros de processo ou defeitos que têm como consequência o retrabalho de peças ou mesmo a sua rejeição.

Fórmula de cálculo do OEE:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade (D)} \times \text{Desempenho (D)} \times \text{Qualidade (Q)}$$

A Figura 4 representa os tempos de produção e as perdas associadas aos equipamentos e recursos humanos.

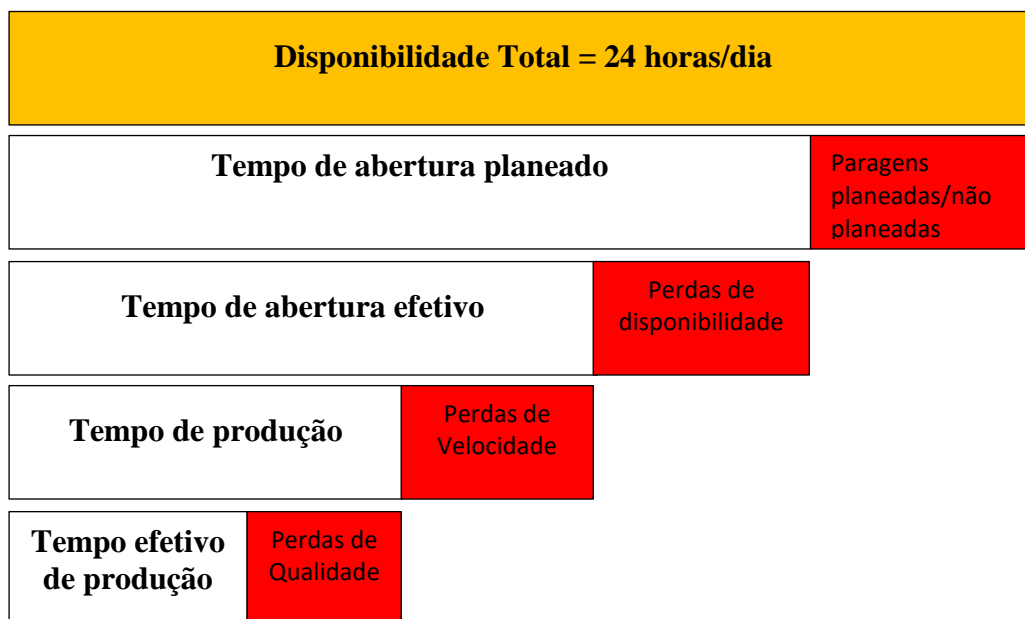


Figura 4 - Métricas do OEE e respetivas perdas

2.5.4 FASES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO TPM

O processo de implementação do TPM engloba 12 etapas, divididas em 4 fases – preparação, introdução, implementação e consolidação. A empresa pode adotar esta filosofia em toda a sua estrutura, num departamento específico ou numa célula ou linha de produção, conforme os critérios requeridos (necessidade de mercado, custos, equipamentos críticos e desafios). O tempo de implantação vai depender da situação atual da empresa, da cultura e comportamento das pessoas e do estado de conservação dos equipamentos (Silva et al, 2020).

Tabela 2 - Etapas da implementação do TPM (Ahuja & Khamba, 2008)

Fases	Etapas	Elementos Básicos
Preparação	1. Declaração da administração sobre intenção de introduzir o TPM	Comprometimento da administração
	2. Treino e formação específica	Cursos para todos os níveis hierárquicos
	3. Criação de estrutura organizacional	Formação de pequenos grupos
	4. Criação de indicadores, políticas e metas	Objetivos Indicadores e metas
	5. Elaboração de um plano	Planeamento
Introdução	6. Início do programa TPM	Comunicação das normas e regras a seguir
Implementação	7. Melhoria da eficiência do processo produtivo	Busca da máxima eficiência no processo produtivo
	8. Implementar o sistema de preservação da segurança e meio ambiente	Zero acidentes Zero poluição
	9. Implementar a manutenção da qualidade	Eliminar defeitos nos produtos
	10. Implementar o TPM nos departamentos e serviços administrativos	Maximização da eficiência administrativa; Informação fidedigna
	11. Implementar a gestão antecipada de novos equipamentos e produtos	Minimização de ineficiências em novos produtos
Consolidação	12. Melhorar	Corrigir desvios Novas metas

Sintetizando, as metas expectáveis resultantes da implementação da metodologia TPM numa organização são (Cabral, 2006):

- Aumento da eficiência da fábrica;
- Redução dos tempos de paragem pela produção;
- Diminuição dos defeitos de qualidade;
- Aumento da produtividade;
- Redução dos acidentes de trabalho;
- Redução de custos de produção;
- Aumento da autoconfiança da produção;

- Redu73o do n3mero de devolu73es e reclama73es – aumento da satisfa73o do cliente;
- Proporcionar boas condi73es de trabalho;
- Operadores das m3quinas tornam-se mais proativos, no sentido de vigil3ncia do estado do equipamento.

A manuten73o produtiva total permite uma forma73o e motiva73o das pessoas para a import3ncia em manter o desempenho 3timo dos equipamentos e representa uma metodologia de gest3o com elevado potencial. A aplica73o desta metodologia tem 3reas preferenciais, sendo uma boa alternativa aplicar a 3reas onde o sucesso seja mais prov3vel. Contudo deve ser um processo que deve ser bem planeado e acompanhado pela gest3o da manuten73o e produ73o.

3 Planeamento e Controlo da Manutenção

A norma NP EN 13460:2009 define o conjunto da documentação que deve estar presente num sistema de gestão da manutenção, especificando os requisitos de cada um desses documentos. A documentação é a informação, em suporte escrito ou digital, necessária para a realização e a gestão da manutenção. Consiste em documentos técnicos, de gestão, administrativos ou outros. O caderno de manutenção faz parte da documentação técnica do ativo e deverá conter todo o histórico de manutenção do ativo. A ordem de trabalho (OT) é o documento que contém toda a informação relacionada com as intervenções e faz referência a outros documentos necessários para realizar o trabalho de manutenção (Cabral, 2021). A ordem de trabalho acompanha o técnico de manutenção, onde estão explícitas todas as tarefas de manutenção a realizar, assim como os recursos necessários (mão de obra, materiais e serviços) e os respetivos custos da realização do trabalho. A OT serve também de suporte para apontamento de diagnósticos de condição do equipamento e intervenções/ações a realizar futuramente. A ordem de trabalho pode ter várias origens, consoante o tipo de trabalho a realizar no bem, podemos definir as seguintes tipologias (Cabral, 2006):

- OT sistemática – cumprimento do plano de manutenção programada, de acordo com as especificações do fabricante ou por experiência operacional adquirida, rotinas de inspeção e lubrificação (realizadas pelo operador), calibrações e ajustes da máquina;
- Calibrações – OT sistemática, análise de óleos;
- OT preventiva de condição – rotinas de inspeção e lubrificação, análise do estado geral e de funcionamento do equipamento;
- OT corretiva – pedidos de manutenção corretiva devido a falha ou inoperacionalidade do equipamento;
- OT melhoria – projetos de melhoria do equipamento, retrofit ao equipamento.

De acordo com Cabral (2021), devem fazer parte da documentação técnica do objeto de manutenção os seguintes documentos: manual de operação, certificados operacionais, manual de manutenção, lista de peças sobressalentes e desenhos técnicos. Estes documentos irão permitir definir e preparar o plano de manutenção de cada OM. Para o efeito é necessário fazer algumas previsões, das quais: tempos de manutenção, esforço HH (Horas Homem) total, de acordo com as várias áreas de abrangência (pneumática, hidráulica, etc), peças e consumíveis, ferramentas e equipamentos, subcontratação de serviços especializados, custos envolvidos, entre outros.

Por vezes, a gestão não possui informação consistente ou conhecimentos para conseguir definir com rigor certas previsões, pelo que as previsões que são definidas inicialmente são extrapoladas com base em informações de funcionamento do equipamento, fazendo alterações ao tempo de manutenção, esforço HH, peças, recursos, sempre que se justifique.

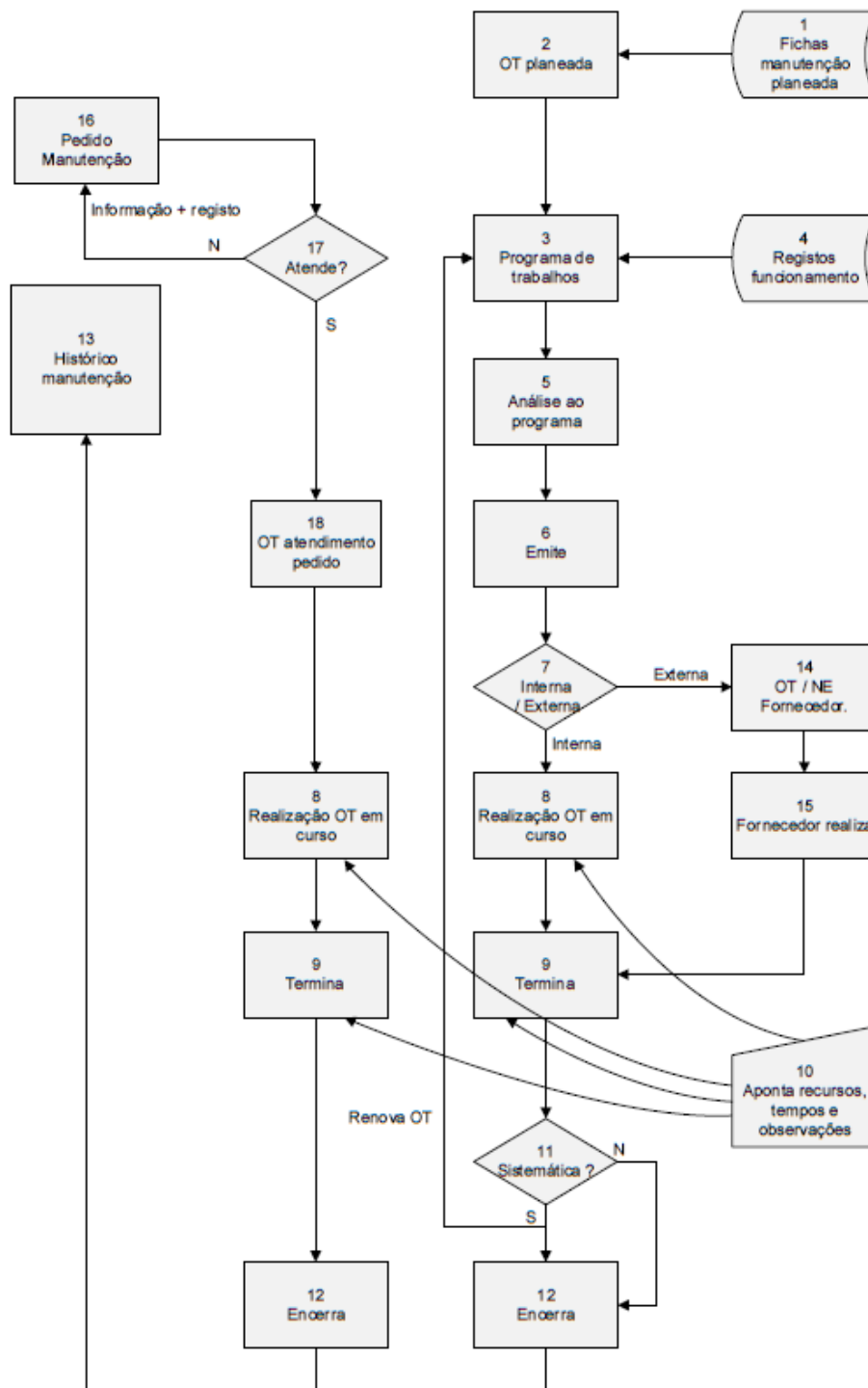


Figura 5 - Fluxograma dos trabalhos de manutenção (adaptado de Cabral, 2021)

O fluxograma da figura 5 representa o circuito desde a criação de uma OT até ao encerramento dos trabalhos de manutenção. Dado que se trata de uma OT planeada (2), pressupõe a existência de uma ficha de manutenção planeada, onde vêm descritos os trabalhos a realizar. A OT contempla o registo de mão de obra, recursos, materiais, custos e informações relevantes sobre o serviço. O programa dos trabalhos (3) apresenta para a totalidade do parque de equipamentos, o conjunto de trabalhos programados com datas definidas. Considerando os registos de funcionamento (4) dos equipamentos, as datas são estimadas, podendo realizar-se manutenção mais cedo ou adiar consoante o que o gestor ache oportuno. Antes de emitir uma OT, o gestor deve garantir os recursos humanos necessários à realização da OT, tendo em conta as HH disponíveis para a realização do trabalho; devem ser disponibilizados todos os materiais necessários e ainda os recursos necessários, como por exemplo equipamentos específicos. A emissão da OT (6) representa a validação dos recursos técnicos e humanos e dos trabalhos a realizar numa data especificada. A responsabilidade da realização da OT é agora do responsável técnico. A OT poderá ser realizada internamente ou por fornecedor externo, sendo acordada data e trabalhos a realizar com o fornecedor externo. Após a OT ter entrado em curso, são imputados tempos de mão de obra, materiais e recursos necessários. Quando se dá como terminada, é necessário registar a data e hora em que terminou o trabalho, efetuar o registo dos tempos, dos quais os tempos de espera, tempos logísticos, tempo de manutenção, tempo de reparação, etc. Devem ser registadas informações relevantes sobre o estado do equipamento, assim como a realização de tarefas adicionais que não eram previstas. No caso da ordem ser sistemática (11), após terminar, o sistema cria uma OT idêntica que é agendada segundo uma periodicidade que está predefinida pelo utilizador. Caso não seja sistemática, passa diretamente para o histórico do equipamento (13). O encerramento da OT (12) significa que esta se encontra fechada, deixando de ser possível qualquer imputação ou registo adicional. Os pedidos de manutenção (16) devem ser solicitados por escrito contendo as seguintes informações: solicitante, equipamento, grau de urgência, descrição dos trabalhos a realizar, data e hora do pedido. A manutenção irá fazer o processamento dos pedidos solicitados. No caso de rejeição do pedido, a OT não avança (Cabral, 2021).

3.1 Criticidade dos Equipamentos

Nos sistemas e equipamentos industriais, o nível de manutenção que é aplicado está diretamente relacionado com a criticidade de cada um destes e é determinada considerando alguns critérios dos quais: ambiente operacional, segurança, qualidade, tempo de operação, disponibilidade, fiabilidade e manutibilidade.

A análise de criticidade tem como finalidade identificar o impacto da indisponibilidade dos equipamentos da organização. As variações dos parâmetros funcionais, as características operacionais e o tempo de funcionamento dos equipamentos influenciam positiva ou negativamente a sua disponibilidade. Dessa forma, gerir a criticidade de todos os equipamentos de uma organização é fundamental para definir a política de manutenção, gerindo os recursos de forma eficiente, contribuindo para a rentabilidade da empresa.

Moss e Woodhouse (1999) definem criticidade como o atributo que expressa a importância da função de um equipamento ou sistema dentro de um processo produtivo, sob os aspectos de segurança, qualidade, meio ambiente ou outros critérios específicos. Aven (2009) defende que a criticidade informa o quanto um equipamento pode ser fundamental dentro do contexto operacional de um sistema, onde a sua falha ou baixo desempenho podem acarretar graves consequências, dos quais, acidentes com pessoas, danos ambientais, impactos económicos e operacionais, sendo a criticidade diretamente proporcional ao impacto desse equipamento no processo (Baran *et al.*, 2013).

3.1.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE

Para determinar a criticidade de um ativo, é necessário analisar a importância deste no processo produtivo da organização. Os fatores a ter em consideração na identificação dos ativos críticos são muito semelhantes entre as áreas de negócio. Podemos considerar os seguintes:

- Número de equipamentos disponíveis/ simultaneidade de utilização;
- Custo do equipamento para a organização (peças de reserva, manutenção, aluguer, ...);
- Impacto que causa na produção se ficar indisponível por avaria;
- Impacto na eficiência do processo;
- MTBF;
- Taxa de avarias.

Para avaliar a criticidade de um equipamento numa organização industrial, em primeira instância, é importante que os técnicos e gestores de manutenção tenham experiência e conhecimentos que lhes permitam definir os equipamentos que são prioritários na produção, ou seja, aqueles em que não existe um substituto direto, caso fiquem indisponíveis. É importante a quantificação dos custos resultantes de manutenção e reparações realizadas.

De seguida são definidos os critérios utilizados e os requisitos de avaliação de cada critério.

Tabela 3 - Critérios de avaliação da criticidade de equipamentos (adaptado Baran et al, 2013)

Critérios	Requisitos de avaliação
Produção e qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos que afetam o regime produtivo • Impacto na qualidade do produto • Falta de peças sobressalentes • Equipamentos “gargalo” na produção • Reclamações de clientes
Disponibilidade, frequência de falhas e fiabilidade dos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • MTBF • MTTR • Fiabilidade • Taxa de avarias
Económico - Financeiros	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de Produção • Custos diretos e indiretos • Eficiência do processo • Consumo de recursos • Custos de manutenção
Segurança e meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Ameaça à vida dos colaboradores • Risco para a saúde dos colaboradores • Ameaça coletiva à sociedade • Infração de normas e leis ambientais

3.2 Análise ABC

A análise ABC, conhecida também por análise de Pareto ou diagrama de Pareto, foi utilizada pela primeira vez num contexto de análise sociológica, para interpretar a observação de que “...um pequeno número de pessoas detinha a maior parte da riqueza...” – 20% das pessoas detêm 80% da riqueza, as restantes 80% só detêm 20% da riqueza. Numa outra sociedade podia acontecer que os mesmos 80% da riqueza fossem distribuídos por 40% das pessoas e os restantes 20% detidos por 60% das pessoas (Cabral, 2021).

Através deste método, é possível classificar os equipamentos em três classes:

Classe A: Equipamentos altamente críticos para o processo, sendo fundamental uma política preventiva com: preditiva e preventiva, análise das falhas de manutenção e operação, equipas focadas na redução de falhas, aplicação de metodologias RCM ou FMECA.

Classe B: Equipamentos importantes para o processo, sendo aceitável aplicação de alguma das seguintes técnicas: preventiva ou preditiva, equipas de melhoria, análise das falhas pela manutenção.

Classe C: Equipamentos com baixo impacto no processo, com as seguintes políticas de manutenção: corretiva, preditiva e/ou preventiva em equipamentos de utilidade frequente.

O *Japan Institute of Plant Maintenance* (1995) recomenda a utilização da classificação ABC, como uma ferramenta para avaliar a criticidade de uma máquina ou sistema dentro de um processo industrial, mediante a utilização de um fluxograma. O sistema é avaliado mediante os critérios escolhidos pelos responsáveis pela análise, através de perguntas que direcionam a avaliação do sistema, sendo classificado numa das três classes (A, B ou C) (Baran *et al.*, 2013).

Tabela 4 - Critérios e parâmetros de classificação da criticidade

Critérios	A	B	C
Impacto ambiental (E)	Impacto externo importante no negócio	Problema ambiental resolvido internamente	Sem consequências ambientais
Segurança (S)	Risco alto de acidentes	Risco médio de acidentes	Risco baixo de acidentes
Qualidade (Q)	Risco alto de perdas e retrabalhos	Risco médio de perdas e retrabalhos	Não afeta a qualidade da produção
Tempo de operação (W)	T = 24h/dia	T ≤ 16h/dia	T ≤ 8h/dia
Disponibilidade (D)	Afeta toda a fábrica/produção	Afeta algumas linhas de produção	Não causa perdas de produção ou indisponibilidade significativas
Fiabilidade (MTBF)	Tempo entre avarias ≤ X horas ou dias	X < tempo entre avarias ≤ Y horas ou dias	Tempo entre avarias > Y horas ou dias
Manutibilidade (MTTR)	MTTR ≥ X horas	X horas < MTTR ≤ Y horas	MTTR < Y horas

Na tabela 4, identificam-se os critérios selecionados que são: impacto ambiental, segurança, qualidade, tempo de operação, disponibilidade, fiabilidade e manutibilidade e os parâmetros definidos para cada tipo de critério/ equipamento.

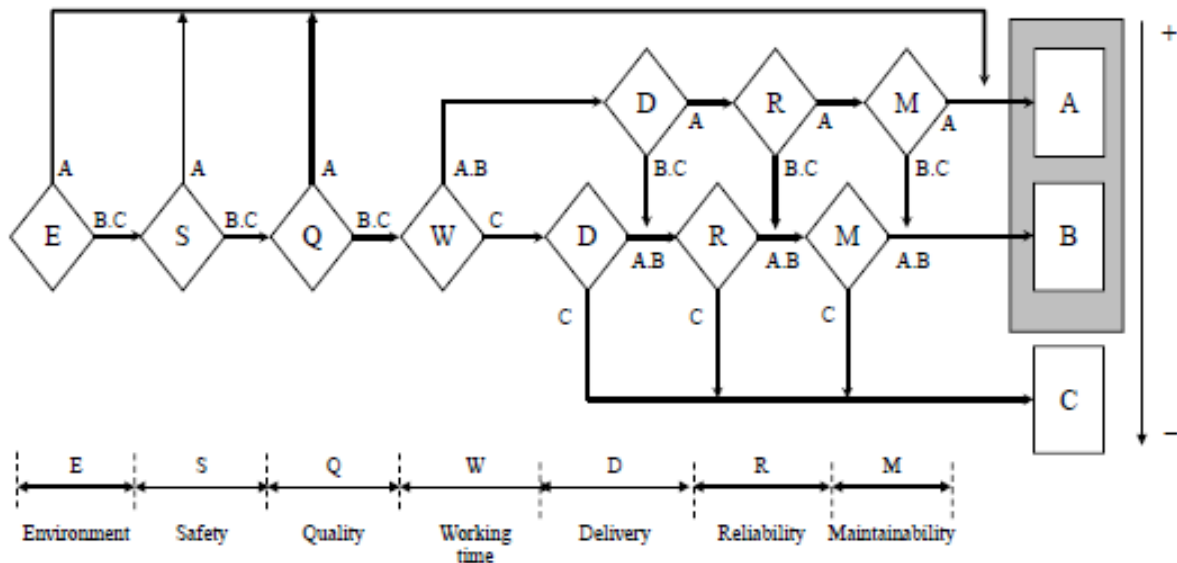


Figura 6 - Fluxograma de criticidade dos ativos (Márquez et al, 2009)

Na Figura 6, o fluxograma ordena a sequência das perguntas por cada ativo que é considerado para análise. Este fluxograma permite apenas a classificação dos activos em três grupos A, B ou C definidos por cada critério. Os critérios são os mencionados na tabela 4, seguindo os moldes de classificação de acordo com o tipo de equipamento, condições de funcionamento e parâmetros de manutenção.

3.3 Análise dos modos e efeitos de falha (FMECA)

Podemos utilizar alguns métodos para análise da criticidade dos equipamentos, que estão relacionados com a filosofia de manutenção e qualidade da organização. A análise dos modos e efeitos de falha ou análise FMECA – *Failure mode, effect and criticality analysis*, é uma das técnicas usadas na análise de condição da falha, consiste na análise ao detalhe dos componentes de um sistema, fazendo melhorias ao projeto inicial de modo a aumentar a fiabilidade. A análise consiste na aplicação das seguintes ações (Assis, 2014):

1. Decompor o sistema em componentes que tem alta probabilidade de falha e serão substituídos ou reparados pela manutenção;
2. Descrever os possíveis modos de falha (rotura, fuga, curto circuito, etc) de cada componente face às condições de operação (carga e ambiente);
3. Identificar as causas de falha (sobrecarga, fadiga, desgaste, erro humano, defeito de material, etc);
4. Identificação das consequências das falhas – até que ponto a função do equipamento é afetada?

5. Determina7o da probabilidade de falha de cada componente, atrav3s de ensaios de fiabilidade, experi4ncia do fabricante ou dados conhecidos;
6. Classifica7o da severidade da falha, com o objetivo de fazer uma distin7o das falhas consideradas cr3ticas, aquelas que levam  inoperacionalidade do equipamento, das falhas moderadas, com perdas econ3micas baixas, que não oferecem perigo aos operadores da máquina e não afetam o desempenho e a efici4ncia para al3m dos limites aceitáveis;
7. Descri7o de a7es preventivas ou corretivas, com o intuito de minimizar a probabilidade de ocorr4ncia de falhas.

Os graus de criticidade ou categorias de risco são classificados segundo a norma americana MIL-STD-882D da seguinte forma (Assis, 2014):

1 a 5 – risco elevado;

6 a 9 – risco s3rio;

10 a 17 – risco m3dio;

18 a 20 – risco baixo.

Outra forma de classificar os modos de falha segundo o risco, consiste em utilizar um ndice de criticidade RPN (*Risk Priority Number*):

$$\text{RPN} = \text{S (Severidade)} \times \text{F (Frequ4ncia da falha)} \times \text{D (Probabilidade de detec7o)}$$

3.3.1 DEFINI7O DA ESTRAT3GIA DE MANUTEN7O DE ATIVOS

Ap3s realizar a análise de criticidade e sele7o dos ativos cr3ticos,  importante definir a estrat3gia de manuten7o a aplicar a cada um dos ativos. Os ativos são classificados em A, B e C correspondendo a cr3tico, semicr3tico e não cr3tico respectivamente.

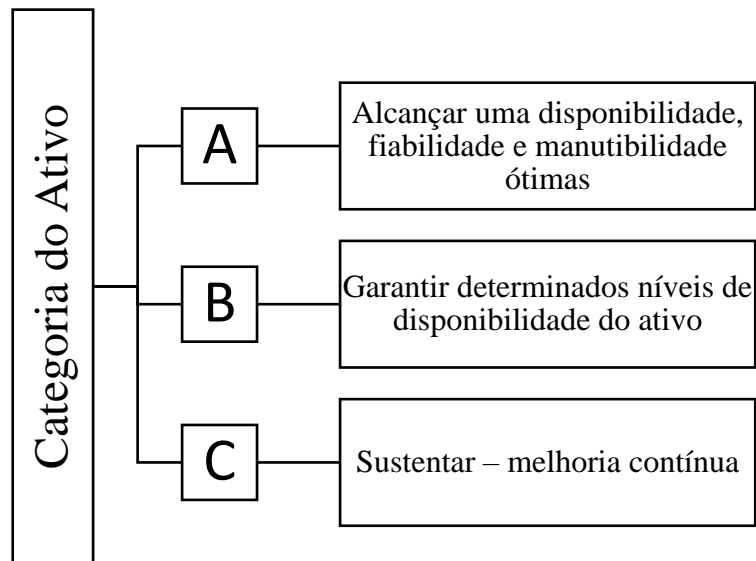


Figura 7 - Estratégia de manutenção de acordo com a categoria do ativo (adaptado Márquez et al, 2009)

Devem ser seguidas as ações correspondentes a cada categoria de ativo que se apresentam abaixo, com o intuito de alcançar níveis de disponibilidade, manutibilidade e fiabilidade ótimos.

Ativos de categoria A

- Identificar os modos de falha críticos (análise FMECA);
- Definir planos de manutenção e ações preventivas (RCM);
- Analisar pontos críticos de projeto dos equipamentos;
- Padronizar ações de manutenção.

Ativos de categoria B

- Evitar falhas repetitivas;
- Revisão contínua do plano de manutenção;
- Padronizar ações de manutenção;
- Analisar pontos críticos de projeto dos equipamentos.

Ativos de categoria C

- Evitar falhas repetitivas;
- Padronizar ações de manutenção.

3.4 RCM – Manutenção Centrada na Fiabilidade

A RCM (Reliability Centered Maintenance) teve origem na indústria aeronáutica, durante a década de 60. Nessa altura, os elevados custos associados às atividades de manutenção preventiva, que contemplavam frequentes intervenções das quais a substituição de componentes das aeronaves, justificaram uma investigação especial sobre a eficácia e eficiência dessas mesmas atividades de manutenção (Barros e Massala, 2020).

Em 1978, Nowlan e Heap conduziram uma investigação que deu origem a uma metodologia para a indústria aeronáutica dos EUA, designada RCM. Nesta investigação, Nowlan e Heap monitorizaram centenas de componentes mecânicos, elétricos e estruturais das aeronaves, tendo concluído que à medida que os componentes envelheciam era possível identificar um determinado padrão de falha. O RCM é hoje progressivamente adotado pelas empresas a nível mundial e pode ser definido como “um método sistemático para determinar quais devem ser os requisitos de manutenção de forma a assegurar que qualquer equipamento continue a desempenhar as funções requeridas no seu contexto operacional” (Moubray, 1992).

A política de RCM foi projetada para evitar a falha do equipamento. O resultado é a capacidade para aumentar o ciclo de vida operacional da máquina, evitando as perdas por indisponibilidade. A natureza proativa do RCM defende que as ordens de trabalho de manutenção sejam alocadas em períodos de baixa produtividade para minimizar essas perdas.

A aplicação deste método envolve a identificação de ações que, quando executadas, têm o objetivo de reduzir a probabilidade de falha de um ativo, aumentando assim a sua fiabilidade e disponibilidade, isto é, espera-se que o número de falhas seja menor e consequentemente verificar uma diminuição dos custos de manutenção (Barros e Massala, 2020).

Inicialmente é necessário responder às sete questões impostas pelo RCM que são as seguintes (Assis, 2014):

1. Quais as funções do equipamento e os níveis de desempenho requeridos?
2. De que formas podem estas funções falhar?
3. Quais as causas de falha de função?
4. O que acontece quando uma falha ocorre?
5. Qual a importância das consequências de cada falha?
6. O que pode ser feito para evitar a falha?
7. O que fazer quando não é possível ou justificável uma política de manutenção preventiva?

O primeiro passo na implementação da RCM é fazer uma pré seleção dos ativos que serão abrangidos por esta metodologia. Esta seleção deverá ser feita com base na importância dos mesmos para o processo produtivo, no seu histórico de manutenção e na experiência adquirida pelos técnicos de manutenção ao longo do tempo. Para poder seleccionar a manutenção mais adequada para o ativo, temos de considerar a frequência de falhas, o nível de importância do ativo no processo produtivo e o contexto operacional deste (Márquez *et al.*, 2009).

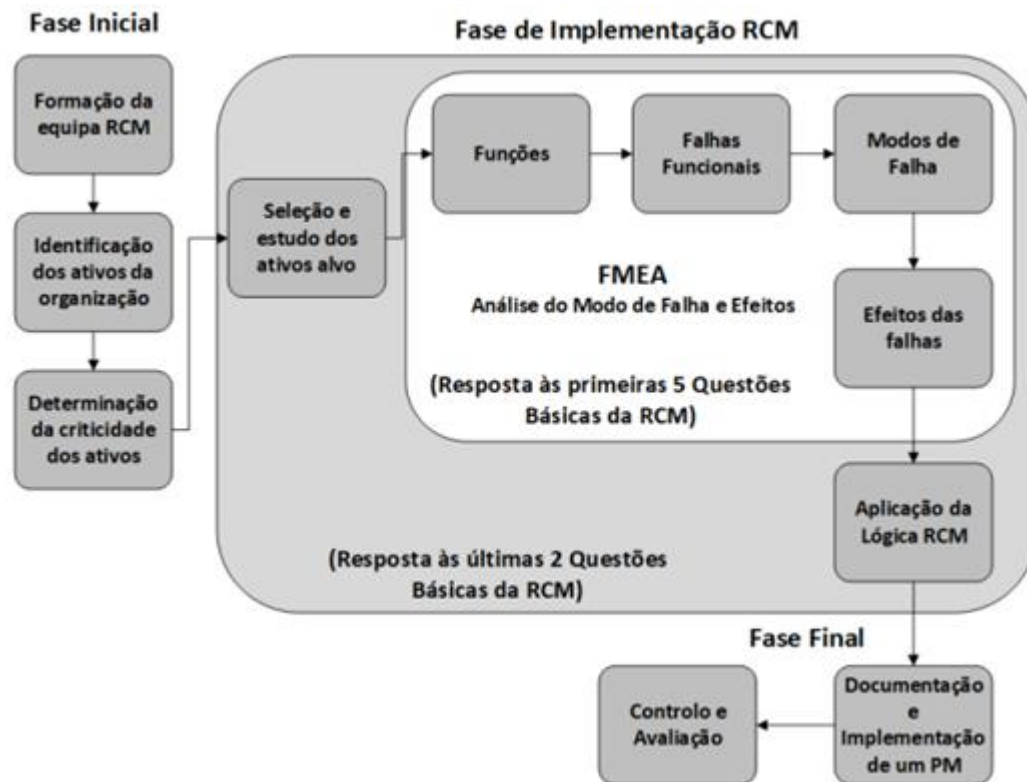


Figura 8 - Metodologia de implementação do RCM (T. Santos, 2018)

Como está esquematizado na figura 8, a metodologia de implementação do RCM compreende três etapas: fase inicial, fase de implementação e fase final. A fase inicial corresponde à criação da equipa que irá desenvolver o processo e à identificação dos ativos e da sua criticidade segundo os critérios definidos pela manutenção da empresa. A fase de implementação estuda as funções dos ativos, os modos e consequências das falhas, pretende-se com isto responder às sete questões do RCM referidas anteriormente. A fase final permite determinar o tipo de manutenção a aplicar ao ativo, segundo os dados que foram analisados anteriormente.

Antes de uma organização aplicar o RCM, deve ser feito um levantamento de todos os ativos e a sua localização. Os equipamentos devem ser classificados segundo critérios definidos pela manutenção e a própria administração. Depois dessa classificação, serão analisados os que são efetivamente críticos para o bom funcionamento da produção, ou seja, que poderão causar

perdas por indisponibilidade. O registo e classificação da criticidade dos equipamentos irá ajudar certamente na gestão da manutenção, planeamento e agendamento de intervenções, criação de base de dados de registo de falhas, com imputação de custos aos equipamentos ou centros de custo respetivos.

O RCM é projetado para evitar a falha do equipamento trabalhando na prevenção e, portanto, evitar problemas que podem levar à indisponibilidade e redução da vida útil. A natureza proativa do RCM, tem como objetivo a criação de planos de manutenção e inspeções periódicas consoante o tempo de funcionamento e criticidade do ativo.

Benefícios de implementação do RCM

Destacam-se alguns dos benefícios resultantes da implementação do RCM (Barros e Massala, 2020):

- Redução das atividades de manutenção corretiva;
- Redução dos custos de manutenção;
- Aumento da disponibilidade dos ativos;
- Incremento da vida útil dos ativos.

4 Indicadores de Desempenho

A medição da performance ou desempenho de um objeto de manutenção é realizada periodicamente. A medição do desempenho de um equipamento faz-se através de indicadores, os quais são definidos por informação que é recolhida diariamente/semanalmente e carregada no sistema de gestão, consoante os fatores definidos para os objetos de manutenção. Podemos definir esses fatores como sendo, o número de intervenções de manutenção que o objeto de manutenção foi alvo, num determinado período temporal, o tempo entre avarias, o tempo despendido em reparações, o tempo de bom funcionamento, a taxa de avarias, o número de peças defeituosas produzidas, etc.

Os indicadores de desempenho devem apoiar a monitorização e controlo do desempenho, identificar desvios de desempenho, apoiar a aprendizagem e melhoria contínua, fornecer recursos de manutenção para áreas que afetam o desempenho da produção. Em geral, os indicadores são medidas ou conjuntos de dados numéricos sobre os processos que se pretendem controlar e melhorar (Muchiri *et al.*, 2011).

A NP EN 15341:2009 define que o desempenho da manutenção é o resultado da utilização eficiente dos recursos para manter ou restabelecer a condição de um bem, para que ele possa cumprir a função requerida; A NP EN 15341:2009 estabelece um conjunto de indicadores de desempenho que estão agrupados em: Económicos, Técnicos e Organizacionais.

A aplicação destes indicadores permite avaliar e melhorar a eficácia, o rendimento e a sustentabilidade da manutenção em ativos físicos existentes, sejam eles industriais, infraestruturas, instalações, edifícios ou sistemas de transporte (Cabral, 2021).

Segundo a norma EN 15341:2019, indicador define-se como a medida quantitativa ou qualitativa de uma característica ou conjunto de características de determinado fenómeno ou desempenho de uma atividade, estabelecida de acordo com critérios definidos, por uma fórmula ou por um questionário. Os indicadores elegidos por uma organização para controlo do desempenho designam-se por Indicadores Chave de Desempenho (ICD, em inglês KPI – Key Performance Indicators), sendo prática recorrente aplicá-los, utilizando um quadro de bordo (Balanced Scorecard) onde podem ser avaliados e correlacionados. O termo Balanced expressa a noção que o quadro de bordo deve ter presente os vários indicadores, fazendo um equilíbrio entre as componentes de custo, serviço, técnica e desenvolvimento organizacional (Cabral, 2021).

Os elementos que devem ser considerados na seleção dos indicadores de gestão devem ter em conta os seguintes critérios (Cabral, 2006).

- Ajudar na tomada de decisões pela gestão;
- Permitir fazer uma comparação da actividade em diferentes períodos;
- Permitir avaliar os benefícios da política de manutenção estabelecida;
- Ajudar na preparação do orçamento de manutenção;

- Ajudar na identificação de problemas;
- Serem fáceis de calcular a partir da informação gerada no dia a dia.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

O conceito de melhoria contínua está presente desde sempre na manutenção. A melhoria contínua é importante do ponto de vista técnico, de gestão e motivação do pessoal. A análise crítica do que é feito e os resultados que são obtidos, permitem tirar conclusões, identificando erros ou lacunas, para posteriormente implementar melhorias nos processos. São exemplos a forma de abordar um problema num equipamento, o tempo despendido em diagnóstico, os tempos de logística, tempos para reunir os recursos necessários para iniciar o trabalho de reparação, entre outros.

Para dispor de indicadores de desempenho, a manutenção deverá ser organizada no que diz respeito à informação de tempos, custos, pessoal envolvido, definição dos equipamentos em parque, etc. Para poder definir indicadores de desempenho, deve considerar-se o estado atual da organização e da área para a qual se vai definir os indicadores. Na primeira etapa devem ser definidos os objetos de manutenção/ instalações e tipo de equipamentos que vão ser abrangidos. Deve ser traçada a manutenção planeada dos equipamentos/ instalações e realizados os trabalhos nas respetivas datas assinaladas ou então consoante os critérios de funcionamento definidos para cada máquina. Deve constar na ordem de trabalho informação relativa a tempos de manutenção, custos, recursos necessários e outras informações que se condiserem importantes. Na segunda etapa, são elegidos alguns indicadores que tenham como função monitorizar o estado do parque de equipamentos/ instalações que são alvo da manutenção, sendo necessário recolha de dados com regularidade, para assim poder eleger os indicadores que melhor se adequam e espelham os resultados da manutenção. Assim que sejam definidos indicadores, será necessário definir objetivos concretos, acompanhar e analisar os resultados que são gerados pelos mesmos, de forma a agir em conformidade.

4.1.1 TAXA DE AVARIAS

A taxa de avarias corresponde ao número de avarias ocorridas num bem, durante um determinado intervalo de tempo, que pode ser medido em tempo de calendário ou tempo de funcionamento (Cabral, 2021).

Taxa de Avarias (Tempo de calendário)

$$\lambda = (N_{av}/T_{AB}) \times 365 \text{ (avarias/ano)} \quad (\text{Eq.1})$$

N_{av} – número de avarias no período em análise

T_{AB} – tempo total de funcionamento

Taxa de Avarias (Tempo de funcionamento)

$$\lambda = (N_{av} / TF) \times 1000 \text{ (avarias/1000horas)} \quad (\text{Eq.2})$$

N_{av} – número de avarias no período em análise

TF – tempo total de funcionamento no período

4.1.2 MTBF – TEMPO MÉDIO ENTRE AVARIAS

O MTBF representa o tempo médio de calendário entre avarias consecutivas ou intervenções de natureza corretiva. Dá-nos informação do tempo de bom funcionamento do equipamento (Cabral, 2021).

$$\text{MTBF} = \Sigma TF_i / N_{av} \quad (\text{Eq.3})$$

TF – tempo de funcionamento

ΣTF_i – somatório do tempo de funcionamento, em dias

N_{av} – número de avarias no período

4.1.3 MTTR – TEMPO MÉDIO DE RESTABELECIMENTO

O MTTR representa o intervalo de tempo necessário para colocar de novo em funcionamento um equipamento que se encontra parado por avaria, ou seja, que se encontra indisponível por avaria. O tempo de restabelecimento engloba os tempos de espera, administrativos e de logística, sendo esses tempos muitas das vezes variáveis e difíceis de estimar (Cabral, 2021).

$$\text{MTTR} = \Sigma TIA_i / N_{av} \quad (\text{Eq.4})$$

TIA – tempo de indisponibilidade por avaria;

ΣTIA_i – somatório dos tempos de restabelecimento, em horas, igual aos tempos de indisponibilidade por avaria no período em análise;

N_{av} – número de avarias no período.

4.1.4 MWT – TEMPO M3DIO DE ESPERA

O tempo m3dio de espera (mean waiting time) 3 a m3dia dos tempos de espera de atendimento dos pedidos de reparaç3o de avarias num determinado per3odo (Cabral, 2021).

$$MWT = \Sigma TDE_i / N_{av} \text{ (horas)} \quad (\text{Eq.5})$$

TDE – tempo de espera;

ΣTDE_i – somat3rio dos tempos de espera de atendimento, em horas, dos pedidos de reparaç3o no per3odo em an3lise;

N_{av} – n3mero de avarias no per3odo.

4.1.5 DISPONIBILIDADE

A **disponibilidade** 3 uma propriedade que tem como funç3o medir o intervalo de tempo durante o qual um bem cumpre as funç3es especificadas, sem interrupç3es devido a manutenç3o preventiva ou setup da m3quina.

Segundo a norma EN 13306:2017, 3 a aptid3o de um bem se encontrar num estado em que, sob condiç3es definidas, possa desempenhar a funç3o requerida, assumindo que lhe s3o fornecidos os recursos externos necess3rios.

$$\text{Disponibilidade (D)} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MWT} \quad (\text{Eq.6})$$

Apresentam-se na tabela seguinte os indicadores técnicos utilizados pela gestão da manutenção:

Tabela 5 - Indicadores técnicos de manutenção

Indicador	Fórmula	Definição
Taxa de Avarias (λ)	$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de avarias}}{\text{Tempo total de funcionamento}}$	Nº de avarias ocorridas num bem, num determinado intervalo de tempo.
Tempo médio entre avarias (MTBF)	$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{N}^\circ \text{ de avarias}}$	Exprime o tempo médio de calendário entre avarias consecutivas de um equipamento.
Tempo médio de restabelecimento (MTTR)	$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total de restabelecimento}}{\text{N}^\circ \text{ de avarias}}$	Tempo médio de restabelecimento de um equipamento nas suas condições de funcionamento iniciais.
Tempo médio de espera (MWT)	$\text{MWT} = \frac{\text{Tempo médio de espera}}{\text{N}^\circ \text{ de avarias}}$	Tempo de espera de atendimento de pedidos de reparação de avarias num dado período de tempo.
Disponibilidade (D)	$D = \frac{\text{Tempo func. total}}{\text{Tempo func. total} + \text{tempo indispon. por avaria}}$	Aptidão de um bem para desempenhar uma função requerida, para a qual foi projetado.

Também é comum a utilização de indicadores organizacionais e económicos pela gestão, dos quais vamos abordar no projeto a taxa HH de manutenção corretiva e taxa HH de manutenção preventiva. Dado o facto do projeto ser centrado em indicadores técnicos, não iremos abordar outros tipos de indicadores, pelo facto de ser informação que se torna inútil para o propósito do projeto. De seguida são apresentados alguns exemplos de indicadores organizacionais e económicos:

Indicadores organizacionais:

- $\frac{\text{HH de manuten\c3\c7\c3o corretiva}}{\text{Total de HH de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$
- $\frac{\text{HH de manuten\c3\c7\c3o preventiva}}{\text{Total de HH de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$
- $\frac{\text{N}^\circ \text{ de acidentes com Pessoal de manut.}}{\text{N}^\circ \text{ total de pessoas na manut.}} \times 10000$ (tx. intensidade de acidentes)
- $\frac{\text{N}^\circ \text{ de OT's preventivas realizadas}}{\text{N}^\circ \text{ total de OT's previstas}} \times 100\%$

Indicadores econ3micos:

- $\frac{\text{Custo total do pessoal interno manut.}}{\text{Custo total de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$
- $\frac{\text{Custo de manuten\c3\c7\c3o subcontratada}}{\text{Custo total de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$
- $\frac{\text{Custo de manuten\c3\c7\c3o corretiva}}{\text{Custo total de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$
- $\frac{\text{Custo de manuten\c3\c7\c3o preventiva}}{\text{Custo total de manuten\c3\c7\c3o}} \times 100\%$

4.2 Fatores para c3lculo de indicadores

4.2.1 FATORES DE TEMPO

O tempo 3 uma vari3vel importante no c3lculo dos indicadores de manuten\c3\c7\c3o. Na manuten\c3\c7\c3o temos v3rias defini\c3\c7\c3es para descrever o tempo investido num equipamento/objeto de manuten\c3\c7\c3o, das quais passo a citar (Cabral, 2021):

- Tempo de calend3rio;
- Tempo de funcionamento;
- Tempo requerido;
- Tempo de manuten\c3\c7\c3o;
- Tempo de repara\c3\c7\c3o;

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

- Tempo de espera de atendimento;
- Tempo de indisponibilidade por avaria;
- Tempo de indisponibilidade por manutenção.

O tempo de calendário define-se como o período temporal, exprime-se em dias ou horas, em valores decimais;

O tempo de funcionamento é definido pelo intervalo de tempo em que o bem está em estado de funcionamento;

O tempo requerido é o intervalo de tempo durante o qual se pretende que um bem esteja disponível;

O tempo de manutenção define-se como o intervalo de tempo durante o qual se realiza manutenção num bem, onde estão incluídos os tempos de origem técnica, logística e tempos administrativos;

O tempo de reparação refere-se ao tempo de manutenção corretiva, ou seja, ao restabelecimento do bem nas condições de bom funcionamento. O tempo de reparação inclui o diagnóstico da avaria, o tempo de manutenção corretiva e o ensaio final para garantir que se encontra nas condições pré-estabelecidas de funcionamento;

O tempo de espera de atendimento é o tempo entre o pedido de manutenção e o início do trabalho de manutenção;

O tempo de indisponibilidade por avaria é o intervalo de tempo durante o qual o bem permanece no estado de indisponível devido a uma avaria. A norma EN 13306:2017 designa por tempo de restabelecimento, que compreende o tempo de reparação e os tempos de logística e administrativos, os quais: tempos de espera devido a indisponibilidade de peças sobressalentes, tempos de pausa, tempo despendido devido a falta de validação do serviço pelo gestor de manutenção, tempo despendido em diagnóstico e teste de funcionamento antes de dar o equipamento como apto para funcionamento.

O tempo de indisponibilidade por manutenção é o intervalo de tempo durante o qual o bem está indisponível devido à realização de manutenção.

4.2.2 FATORES DE ESFORÇO HH

- HH total (HHT) é o número de Horas Homem trabalhado num período pelo pessoal interno e externo de manutenção, gerido pela organização;
- HH interno (HHI) corresponde ao número total de Horas Homem trabalhado num período pelo pessoal interno de manutenção;

- HH externo (HHE) corresponde ao número total de Horas Homem trabalhado num período pelo pessoal externo de manutenção, que pode ser pessoal subcontratado ou mesmo pessoal da produção;
- HH extraordinárias (HHX) é o número total de Horas Homem extraordinárias trabalhado no período pelo pessoal interno de manutenção;
- HH de manut. corretiva (HHMC) é o número total de Horas Homem despendidas em manutenção corretiva;
- HH de manut. preventiva (HHMP) é o número total de Horas Homem despendidas em manutenção preventiva;
- HH de manut. melhoria (HHMM) é o número total de Horas Homem despendidas em manutenção de melhoria;
- HH de manut. condicionada é o número total de Horas Homem despendidas em manutenção condicionada.

4.2.3 Fatores relacionados com custos

O custo das actividades de manutenção inclui os seguintes campos:

- Mão de obra
- Materiais
- Serviços
- Administração

Os custos de mão de obra contemplam os custos com o pessoal interno de manutenção (direto e indireto) e custos com o pessoal externo, subcontratado. Todos os custos afetos à mão de obra são calculados com recurso à quantidade de HH relativas à manutenção.

$CPI = \text{Custo do pessoal interno de manutenção} = HH \times CHHP$

$CPE = \text{Custo do pessoal externo de manutenção} = HH \times CHHE$

HH – nº de Horas Homem

CHHP – custo padrão Horas Homem interno (custos do pessoal direto + indireto + custos do departamento de manutenção)

CHHE – custo Horas Homem do pessoal externo

A Hora Homem, representada pela abreviatura HH, é a unidade que mede o esforço humano dedicado à realização dos trabalhos de manutenção. O custo HH é o custo padrão médio, que quantifica os custos de mão de obra dos trabalhos realizados. O seu valor deve-se ao custo unitário médio horário dos salários (compreende o vencimento, encargos sociais, subsídios, dividido pelo número total de horas de trabalho) dos trabalhadores, agravado pelos custos de estrutura que permitem aos trabalhadores diretos as condições necessárias para desempenharem a sua função. Os trabalhadores diretos têm uma participação direta nas intervenções, dos quais: mecânicos, eletricitas, soldadores, etc. Os indiretos disponibilizam as condições necessárias para os diretos poderem cumprir os serviços, por exemplo: chefe de oficina, colaborador do armazém de peças e consumíveis, ferramenteiro, pessoal da gestão e administrativo, chefe da linha de produção, etc (Cabral, 2021).

Os custos de estrutura contemplam ainda a amortização de ferramentas e equipamentos usados na manutenção, consumo de energia, água, aluguer de instalações que servem de apoio à manutenção.

O controlo do orçamento de manutenção, passa por implementar os processos que permitem que os custos sejam devidamente associados aos objetos de manutenção. Cada um dos objetos pertence a um centro de custo e faz parte de uma rubrica (Tabela de natureza de custos – Anexo B). O custo de mão de obra é calculado pela organização, consoante o valor de HH especificado. O custo dos materiais utilizados também se pode considerar, caso estes façam parte das existências em armazém. Esta rubrica de custos deverá ser tratada pela contabilidade da seguinte forma: artigos em que o custo é considerado no momento em que são adquiridos e rececionados pelo armazém, independentemente da data em que vão ser consumidos pela manutenção; artigos de inventário, em que o custo dos materiais só é considerado quando são consumidos pela manutenção; artigos que fazem parte de um ou mais bens e estão sujeitos a depreciação anual.

As faturas de serviços requeridos e materiais de aplicação direta, passam pelo departamento de manutenção para serem validadas e imputadas aos objetos/ ativos correspondentes.

4.2.4 Custo do ciclo de vida

A vida útil de um equipamento pode ser definida como o período desde a sua aquisição até à sua alienação. A substituição/alienação dos equipamentos ocorre por vários motivos, um dos quais é a sua degradação e a falta de peças de reposição que inviabilizam a sua utilização; o incumprimento dos requisitos exigidos é também um factor limitante que provoca a sua substituição. A obsolescência tecnológica resulta da consequência da contínua inadequação das características operacionais às exigências do mercado.

O LCC (*Life Cycle Cost*) calcula o custo total de um sistema durante a sua vida útil. O custo do ciclo de vida de um equipamento é composto por dois custos: o custo de propriedade e o custo de operação. O custo de propriedade compreende a soma dos custos durante a vida útil do ativo, sendo: custo de aquisição e instalação, custo de manutenção e custo de desativação e desmantelamento. Determinar os custos de manutenção não representa a principal função da gestão da manutenção. Contudo, o gestor de manutenção deve ter a sensibilidade para identificar, perceber a sua origem, avaliá-los e procurar otimizar os mesmos, baseando-se em critérios consistentes. A imagem do iceberg de custos é um bom exemplo, que explicita os custos de manutenção numa organização. Como se pode verificar na imagem abaixo, 1/5 do iceberg emerge à superfície, mostrando os custos visíveis ou diretos. Os custos invisíveis ou indiretos são representados pela parte submersa, que corresponde aos 4/5 (Cabral, 2021).



Figura 9 - Iceberg de custos (Cabral, 2006)

A gestão financeira associa custo a um documento (fatura, venda a dinheiro). A gestão técnica considera os custos como perda de produção, esforço HH, custo de indisponibilidade, custo por baixo rendimento (consequência de paragens) e custo de não qualidade.

No ponto de vista da gestão da manutenção, os custos são apurados ao nível da organização global e ao nível de cada objeto de manutenção, envolvendo os custos diretos (mão de obra, peças de reposição e serviços) e os indiretos (custos de indisponibilidade).

Os chamados custos diretos resultam diretamente da atividade de manutenção, são designadamente, custos de mão de obra, peças de reposição, ferramentas e equipamentos, subcontratação de serviços, etc. Para além destes custos, existem outro tipo de custos que resultam indiretamente da atividade de manutenção, que se designam por custos indiretos. Este tipo de custos é difícil de estimar, estão relacionados com custos administrativos, custos de indisponibilidade, perda de produção, baixa qualidade, entre outros.

São considerados custos diretos de manutenção:

- Mão de obra;
- Consumo de peças, materiais e consumíveis;
- Custos de posse de peças, ferramentas e máquinas;
- Formação e treino profissional;
- Contratos de manutenção;
- Mão de obra subcontratada;
- Amortização de ferramentas e equipamentos.

São considerados custos indiretos aqueles que resultam em perda de produção, dos quais podemos considerar:

- Perda de qualidade;
- Baixo rendimento;
- Paragens não planeadas;
- Novo arranque do processo produtivo;
- Perda de motivação, stress;
- Penalizações e perda de clientes;
- Custos de não produção.

Os custos de manutenção considerados que ajudam a definir a melhor política de manutenção são a soma dos custos de manutenção contabilísticos, custos das perdas por falta de manutenção e os benefícios que se retiram com a manutenção de melhoria.

4.3 Orçamento de manutenção

O orçamento de manutenção é um documento de planeamento que facilita ao gestor alcançar os objetivos propostos pela empresa. O orçamento consiste no plano de ações definido pela manutenção, que tem em consideração os objetivos e o orçamento global da empresa. O gestor deve fornecer à contabilidade analítica da empresa os elementos técnicos necessários que irão permitir obter um orçamento que seja coerente do ponto de vista da gestão financeira (Cabral, 2006). Na preparação de um orçamento anual de manutenção, o gestor prevê os equipamentos que requerem manutenção e os que têm de ser substituídos, devido a serem considerados obsoletos ou quando o valor de reparação é considerado tecnicamente inviável. O plano de ação de manutenção contempla as previsões monetárias de acordo com as seguintes rubricas:

- Mão de obra de manutenção;
- Materiais aplicados na manutenção;
- Serviços subcontratados/ Contratos de manutenção;
- Entradas em armazém;
- Investimentos (em equipamentos, reparação total,...).

A administração da empresa valida e mobiliza os recursos financeiros necessários para o efeito. O investimento em equipamentos novos ou recondicionamento dos existentes vai ser considerado como CAPEX (Capital Expenditure), que traduz os investimentos realizados pela empresa, com o objetivo de manter os seus ativos em operação, aumentando a sua vida útil, ou então substituindo os mesmos por outros. O OPEX (Operating Expenditure) diz respeito aos custos operacionais do período, custos de operação e custos de manutenção do equipamento (Márquez et al, 2009).

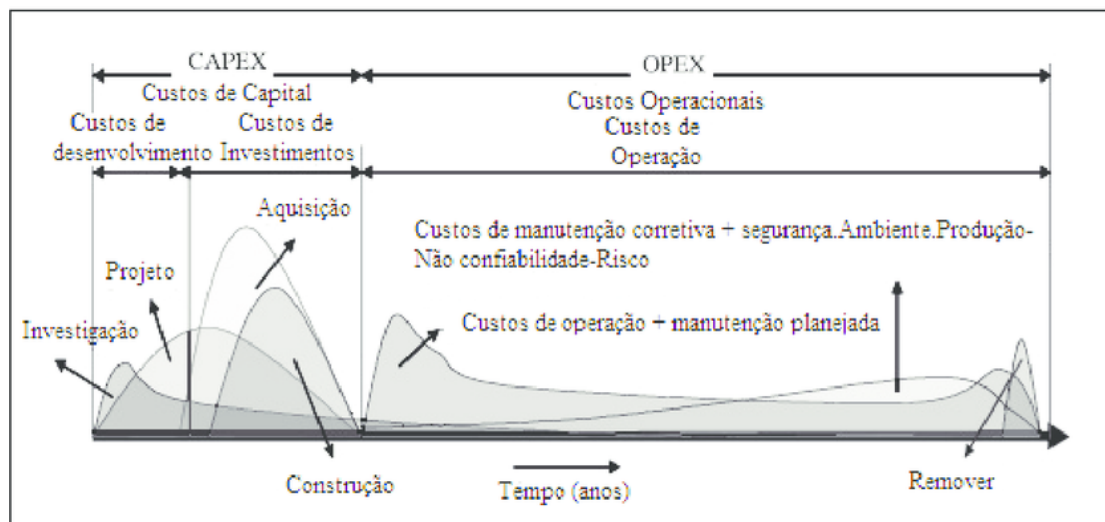


Figura 10 - Análise do custo do ciclo de vida (adaptado de Márquez et al, 2009)

5 Balanced Scorecard

O Balanced Scorecard (BSC) foi criado na década de 90 por Robert Kaplan e David Norton, o qual veio sistematizar uma visão integrada operacional e financeira no controlo da gestão, que vai de encontro aos objetivos estratégicos da organização em cada momento. O balanced Scorecard traduz a missão e a estratégia da organização em objetivos e medidas, organizados segundo quatro perspetivas distintas: financeira, do cliente, dos processos internos e da aprendizagem e crescimento. Robert Kaplan, da Universidade de Harvard, e David Norton, consultor administrativo americano, propuseram o Balanced Scorecard como um meio de avaliação do desempenho organizacional, baseando-se nas quatro perspetivas mencionadas anteriormente. O scorecard cria uma estrutura, uma linguagem, para comunicar a missão e estratégia da organização e utiliza indicadores para poder haver uma monitorização dos resultados no presente e poder estabelecer novas metas para o futuro.

A missão e a visão da empresa são traduzidas em objetivos e medidas que refletem os interesses e as expectativas dos seus principais stakeholders, que possam ser agrupadas em quatro perspetivas distintas, como se descreve nas seguintes sub-seções.

5.1 Perspetiva Financeira

A dimensão financeira permite analisar a aprendizagem e crescimento, ou seja, as medidas financeiras fornecem informação e permitem tirar conclusões sobre a estratégia implementada, designadamente se existem resultados benéficos com a estratégia financeira imposta. As metas financeiras são designadamente o lucro líquido (vendas e serviços prestados), rendimento do capital investido ROI (Return On investment), a criação de valor e a geração de fluxo de caixa (Kaplan & Norton, 1997).

5.2 Perspetiva dos Clientes

A perspetiva dos clientes traduz a missão e a estratégia da empresa em objetivos específicos para segmentos de mercado e clientes diferenciados. Sendo assim, a gestão deve identificar o tipo de clientes e segmentos de mercado em que a empresa irá atuar. Posteriormente são definidos os indicadores de performance, os quais podemos eleger: grau de satisfação do cliente, taxa de retenção de clientes, taxa de aquisição de novos clientes, rentabilidade dos clientes e quota de mercado (Kaplan & Norton, 1997).

5.3 Perspetiva dos Processos Internos

Os processos internos de uma organiza73o, s3o aqueles que d3o origem a produtos ou servi73os e que contribuem para satisfazer as entidades que permitem o crescimento da organiza73o, os quais: acionistas, clientes, fornecedores, colaboradores, etc. Segundo esta perspetiva, a empresa deve fazer uma an3lise cont3nua dos seus processos cr3ticos, avaliando caso a caso os que s3o objeto de melhoria. Os departamentos de produ73o e manuten73o da maioria das empresas, procuram otimizar a fiabilidade do parque de equipamentos, sendo que o principal objetivo 3 incrementar a disponibilidade e poder prever avarias futuras, com a cont3nua monitoriza73o da condi73o do equipamento.

5.4 Perspetiva da Aprendizagem e Crescimento

A perspetiva da aprendizagem e crescimento distingue as capacidades que a empresa deve possuir ou desenvolver, para poder evoluir continuamente. A capacidade da empresa para inovar, melhorar e aumentar o seu desempenho relaciona-se diretamente com a cria73o de valor. Os tr3s recursos necess3rios para este efeito s3o: as pessoas, os sistemas de informa73o e os procedimentos adotados. Deste modo, devem ser identificados os fatores cr3ticos nos processos internos da organiza73o, que prejudicam o desempenho e a imagem da organiza73o. Devem ser implementados processos que valorizem a qualifica73o das pessoas, novas tecnologias e sistemas de informa73o. Estas melhorias estimulam os ganhos de efici3ncia, diminui73o do tempo de resposta e melhorias ao n3vel da gest3o. Os objetivos estrat3gicos da organiza73o devem ser definidos, envolvendo todos os colaboradores da organiza73o e indo de encontro 3s expectativas dos clientes/mercado.

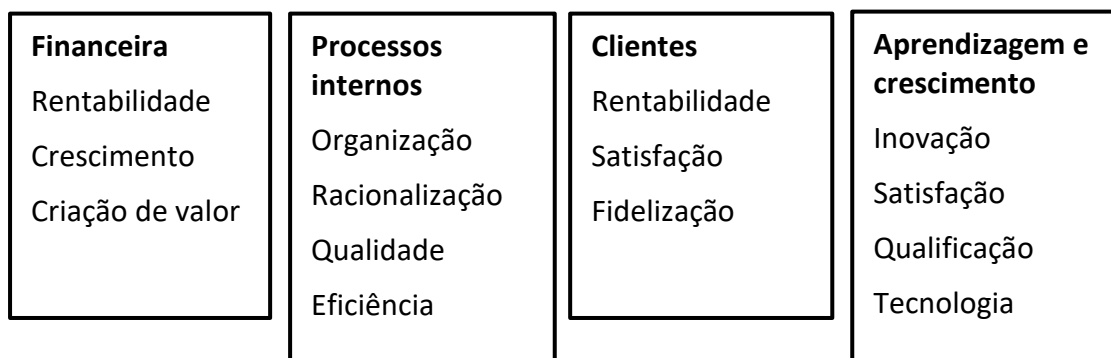


Figura 11 - As quatro perspetivas do BSC (Assis, 2014)

De acordo com Kaplan & Norton, deve existir um equilíbrio entre resultados e medidas. A eficácia dos indicadores não passa por ter uma grande quantidade, provocando uma sobrecarga de informação, antes devem ser implementados indicadores que proporcionem uma visão rápida e compreensível do negócio, devendo responder às seguintes perspetivas:

1. Perspetiva financeira – Quais as expectativas dos acionistas?
2. Perspetiva de clientes – Como é que a organização é vista pelos clientes?
3. Perspetiva de processos internos – Em que tipo de processos se distingue a organização?
4. Perspetiva de aprendizagem e crescimento – Como se acrescenta valor à empresa e aos processos?

A Figura 11 representa os objetivos considerados mais importantes numa empresa, de acordo com a perspetiva. É necessário definir objetivos e metas em concreto para poder medir a evolução da empresa. A estrutura do BSC divide-se assim, num conjunto de três grupos distintos mas inter-relacionados: as perspetivas, os objetivos e os indicadores. As perspetivas traduzem-se por objetivos, os quais estão associados a um conjunto de indicadores que permitem a sua quantificação.

Em síntese, o Balanced Scorecard pode ser entendido pelos colaboradores como um sistema de gestão que traduz a estratégia da empresa em objetivos, medidas, metas e iniciativas que devem ser regularmente monitorizadas e acompanhadas pela gestão, de forma a poder efetuar mudanças na estratégia/ medidas de acordo com os resultados obtidos.

Podemos então definir os benefícios de implementação do Balanced Scorecard:

- ✓ Possibilita a visão da empresa de uma forma abrangente e a avaliação do desempenho organizacional;
- ✓ A definição das várias perspetivas possibilita detetar os pontos críticos, e assim implementar estratégias que vão de encontro à sua melhoria;
- ✓ Permite a criação de indicadores para medição do desempenho da gestão da manutenção que estejam alinhados com os objetivos estratégicos da organização;
- ✓ Permite desenvolver uma cultura de aprendizagem e melhoria contínua;
- ✓ Permite a criação de sinergias entre os vários departamentos da organização, pelo que são todos envolvidos no processo.

O esquema apresentado abaixo representa os objetivos de desempenho, segundo as quatro perspectivas, podendo ser definidos consoante a área.

Na base do esquema estão definidos objetivos relacionados com a perspectiva de aprendizagem e crescimento, que permitem a criação de valor, o aumento das qualificações dos colaboradores e melhoria dos procedimentos internos da organização. Estes objetivos estão diretamente relacionados com os objetivos da perspectiva dos processos internos, que permitem o crescimento da organização. Ao nível da perspectiva dos clientes, o objetivo mais importante é a satisfação do cliente, que depende da qualidade e cumprimento dos processos internos. No topo representam-se os objetivos da perspectiva financeira, que devem estar alinhados com as medidas tomadas nas perspectivas anteriores, de forma a fazer crescer os lucros e aumentar a rentabilidade da empresa.

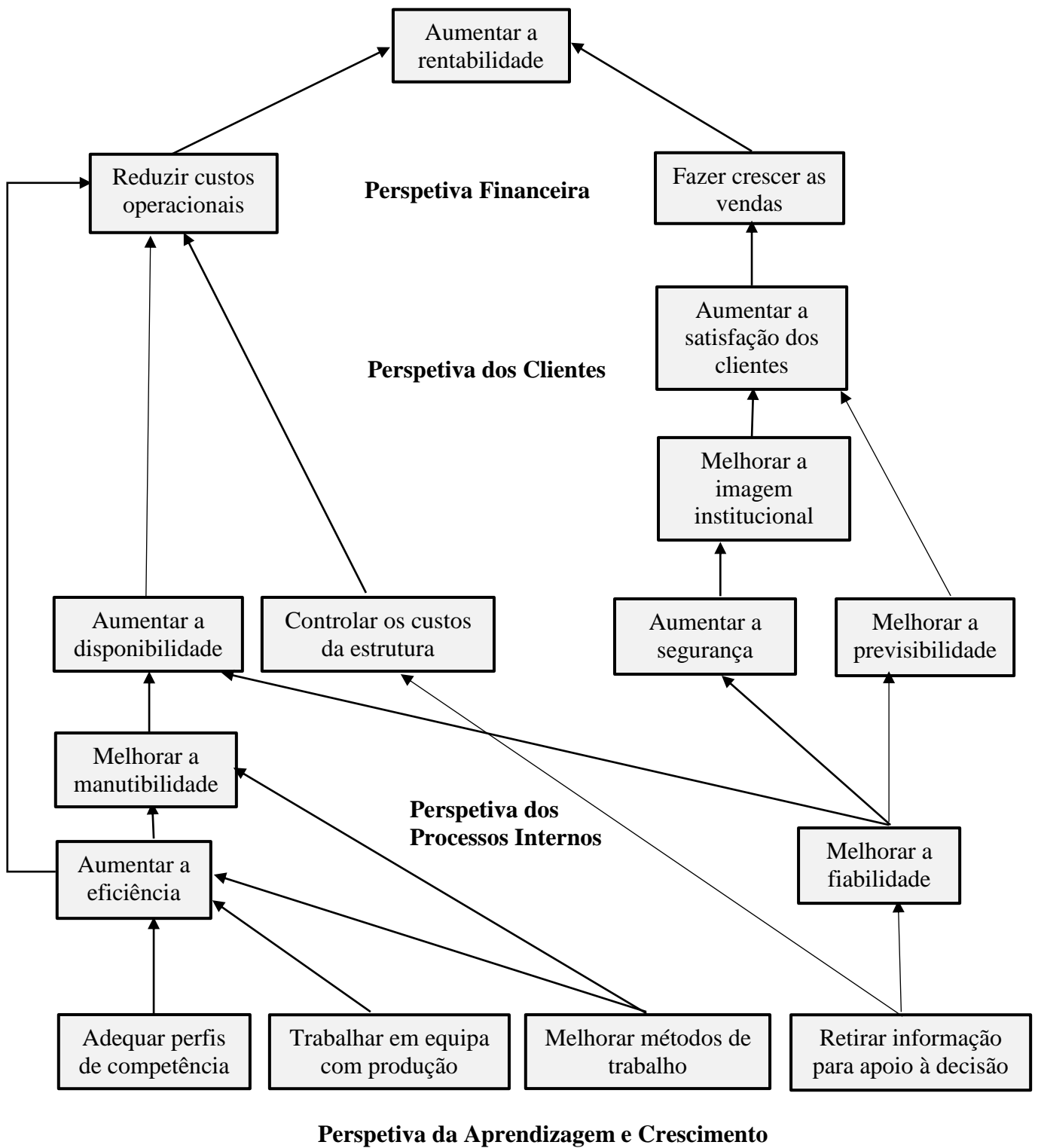


Figura 12 - Estrutura de objetivos de uma organização (Assis, 2014)

6 Enquadramento Operacional

6.1 Empresa

A Siemens Gamesa 3 um fornecedor global l3der em produtos, serviç3os e soluç3oes de energia e3olica. Foi fundada em abril de 2017 atrav3s da fus3o da Siemens Wind Power e a Gamesa. 3 uma das maiores produtoras de turbinas e3olicas, sendo l3der no setor offshore (aplicaç3o no mar) e a segunda maior produtora no setor onshore (aplicaç3o em Terra). Presta tamb3m serviç3os de assist3ncia t3cnica e gest3o completa dos ativos. Est3 sediada em Zamudio, Espanha. Emprega mais de 23000 colaboradores, com um volume de receitas por ano de 9,1 mil milh3es de euros. Recorre a uma produç3o moderna, recorrendo a processos tecnol3gicos que permitem a reduç3o de tempo e do erro humano. Possui 7 centros de investigaç3o e desenvolvimento situados em Bangalore (3ndia), Boulder (Estados Unidos), Brande (Dinamarca), Hamburgo (Alemanha), Bilbao, Madrid e Pamplona (Espanha).

A empresa considera que os t3picos da sa3de, seguranç3a dos colaboradores e a proteç3o do ambiente t3m grande import3ncia para o desenvolvimento do comportamento dos profissionais, tendo como base a prevenç3o de incidentes laborais, sensibilizaç3o das pessoas para o respeito das normas e riscos e adoç3o de uma postura de melhoria cont3nua.

Alguns dos objetivos primordiais:

- ✓ Alcançar a meta dos “zero” incidentes laborais;
- ✓ Reduzir o n3 de doenç3as provenientes do contexto laboral;
- ✓ Reduzir a pegada de di3xido de carbono;
- ✓ Minimizar o impacto ambiental;
- ✓ Otimizar a efici3ncia energ3tica.

A unidade industrial Siemens Gamesa est3 situada no Parque empresarial de Soza, em Vagos. 3 uma f3brica conhecida pela sua excel3ncia e conhecimento na concepç3o e fabrico de p3s para turbinas e3olicas onshore. Exporta a totalidade da sua produç3o para os mercados internacionais.

Esta unidade industrial oferece caracter3sticas operacionais excelentes, devido ao espaço existente, à grande 3rea das duas naves fabris e à exist3ncia de equipamentos de elevaç3o e transporte que facilitam a log3stica das p3s em todo o processo de produç3o. Tamb3m a localizaç3o da f3brica 3 importante, pelo que permite o acesso direto à auto estrada e a proximidade ao porto de Aveiro, facilitando o transporte destes componentes de grandes dimens3es.

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

Atualmente, a fábrica produz pás específicas de dois projetos denominados SG 155 e SG 170, tendo terminado a produção do projeto SG145 em maio de 2023.

Tabela 6 - Características dos projetos

Designação do Projeto	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Peso Nominal (kg)	Potência Nominal (MW)
SG 145	71	145	23000	5,0
SG 155	76	155	22000	6,6
SG 170	83	170	25000	6,6 – 7,0

A fábrica possui duas naves de produção designadas moldes e acabamentos. A nave dos moldes é onde se inicia o processo de fabrico da pá, onde irá passar pelo fabrico das peças que constituem a pá e a sua montagem. Posteriormente, a pá inacabada é alvo de inspeção por ultrassons, onde são identificados defeitos de fabrico, que posteriormente irão ser corrigidos na fase de acabamentos.



Figura 13 - Instalações fabris da Siemens Gamesa em Vagos

6.2 Turbinas eólicas

As turbinas são equipamentos que convertem a energia proveniente do vento, a energia cinética que faz mover as pás da turbina em energia mecânica. As pás estão conectadas ao rotor, sendo que este está diretamente ligado ao eixo do gerador, fazendo a conversão da energia mecânica em energia elétrica.

Segundo a sua tipologia, podemos classificar as turbinas de acordo com a posição do eixo: eixo vertical e eixo horizontal. As turbinas de eixo horizontal são as mais utilizadas, devido a terem maior capacidade de produção de energia, dado que as pás se encontram na perpendicular à direção do vento. As turbinas de 3 pás são as mais utilizadas, garantindo que a estabilidade da estrutura não é afetada pela velocidade das pás. A torre do aerogerador, mede entre 30 e 120 metros de altura. Quanto maior for a distância ao solo maior será a velocidade do vento. O rotor possui um diâmetro entre 20 e 170 metros e é constituído por um cubo, designado hub onde são fixas as pás da eólica.

Para que a produção de energia seja significativa é necessário o auxílio de uma caixa de velocidades para aumentar a rotação do veio do gerador, dado que a rotação do veio principal é baixa, sendo insuficiente para gerar energia. Um multiplicador de velocidade transforma a velocidade de rotação das pás (18 a 25 rotações por minuto) numa rotação mais rápida (até 1800 rotações por minuto) para o veio do gerador. O gerador elétrico converte a energia mecânica recebida em eletricidade.

Em condições meteorológicas mais adversas é necessário travar a rotação das pás, de modo a evitar o colapso do equipamento. Para o efeito, existe um travão entre a caixa e o gerador, e ainda, sensores que medem a velocidade e direção do vento. A torre e as pás da turbina movem-se em torno do seu eixo, de forma a tirar maior proveito da energia cinética do vento.

A energia que é gerada é encaminhada até à base do aerogerador e, posteriormente conduzida a uma subestação, onde é aumentada a sua tensão e injetada na rede elétrica.

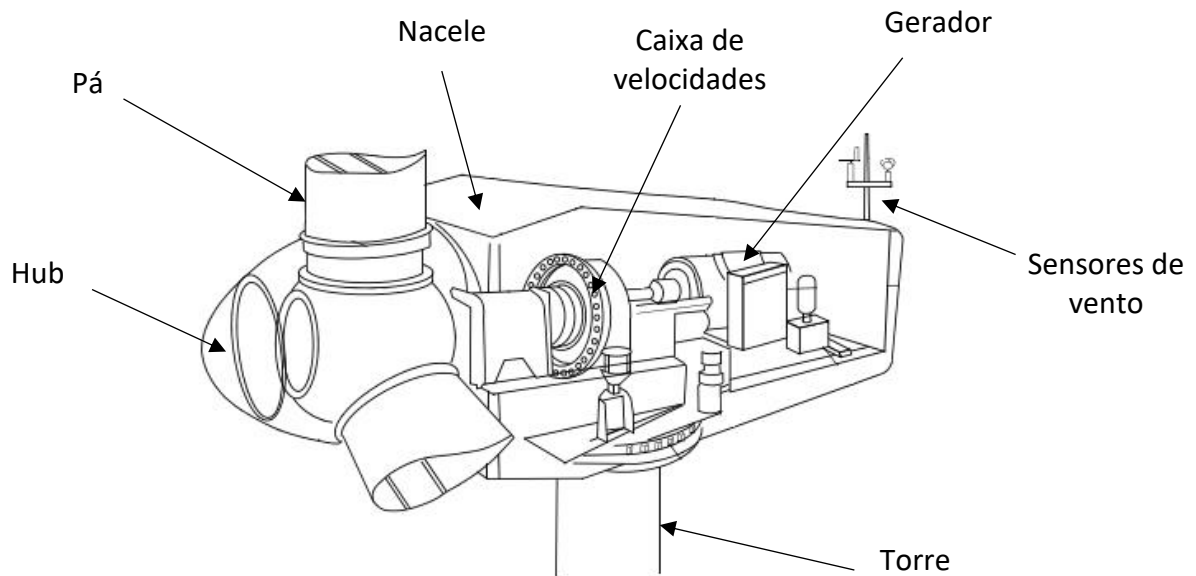


Figura 14 - Constituição de uma turbina eólica (adaptado de Jiang et al., 2017)

Na figura 14 é possível verificar os principais componentes que constituem as turbinas de eixo horizontal, os quais:

- *Nacele* – estrutura que alberga os componentes mecânicos e elétricos: caixa multiplicadora (transmissão), eixo principal, travões, gerador, controlo eletrónico, sistema hidráulico, etc;
- Caixa multiplicadora – a função deste componente é multiplicar a rotação do veio que está diretamente ligado ao gerador elétrico;
- Sensores de vento e anemómetro – permitem medir a direção e velocidade do vento;
- *Hub* – elemento onde estão fixas as pás e de transmissão de movimento aos componentes da *Nacele*;
- Pás – componentes ligados ao rotor, que captam a energia do vento responsáveis pelo movimento de rotação;
- Torre – Suporta e eleva a uma altura oportuna os componentes principais da turbina;
- Base – suporta o peso de todo o equipamento, servindo de sustentação da turbina eólica.

6.3 Fabrico das pás da turbina

As pás são constituídas pelas seguintes camadas:

Camada estrutural: esta camada forma o núcleo da pá e é constituída por materiais compósitos que dão a resistência necessária à pá para suportar as forças dinâmicas e a flexão devida às condições atmosféricas. As fibras de vidro, fibras de carbono e resinas epóxi são usadas para essa finalidade.

Camada de reforço: as pás têm presente no seu interior elementos estruturais adicionais, que servem de reforço e suporte para evitar flutuações excessivas durante o seu funcionamento.

Camada de revestimento: depois de passar pelos processos de moldagem e colagem de todos os componentes, as pás são testadas e posteriormente são preparadas com massas de acabamento e pintadas, o que melhora a sua aerodinâmica e lhes confere proteção contra as condições ambientais (humidade, exposição à luz solar e agentes externos).

As pás são constituídas por uma estrutura exterior designada *Shell* (*Shell PS* e *shell SS*) e por elementos internos, designados por *Main Web*, *Rear Web*, *Cap*, *Rear Cap*, insertos e *girder* que fornecem suporte e ligação à estrutura exterior. Os elementos internos são designados por pré fabricados, por serem produzidos em moldes independentes. São os primeiros a serem produzidos. A *Cap*, a *Rear Cap* e os insertos são adicionados quando são produzidas as *Shells*. Após a cura da resina, a *Main Web* e a *Rear Web* são coladas à *Shell SS*. Procede-se ao fecho da pá com a colagem do conjunto anteriormente referido à *Shell PS*.



Figura 15 - Pá representada em vista explodida (Fonte: Siemens Gamesa)

6.3.1 MATÉRIA PRIMA

As pás são fabricadas utilizando materiais compósitos, fibras e resina epóxi, dado estes materiais apresentarem uma excelente combinação entre leveza e alta resistência mecânica. A junção destes materiais origina um composto homogêneo, onde as propriedades mecânicas do conjunto são altamente superiores às dos materiais em separado.

Inicialmente eram usados na produção de pás materiais como madeira e metais, porém estes materiais são inviáveis devido ao peso do conjunto final e à rotura por fadiga dos materiais, dado que estas estruturas estão sujeitas a esforços e cargas cíclicas intensas.

Fibras

As fibras são o principal constituinte da pá, sendo utilizadas as fibras de vidro, fibras de carbono e manta designada por *Continuous Random Mat*, que é usada geralmente na zona dos pré-fabricados para facilitar a infusão na peça. São usados tecidos unidirecionais, biaxiais e fibra de carbono, tendo como função suportarem os esforços impostos na pá, podendo ser aplicados em mais que uma orientação, variando com o tipo de solicitações mecânicas a que cada elemento da pá se encontra sujeito durante o seu funcionamento.

Apresentam-se de seguida imagens do tipo de tecidos utilizados na pá e nos pré fabricados:

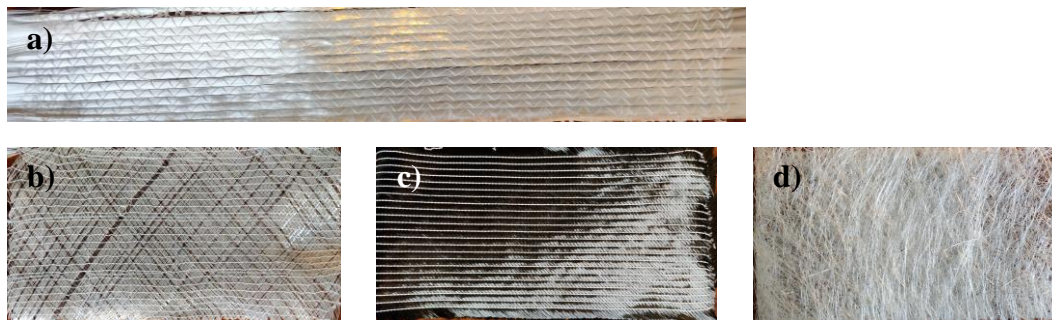


Figura 16 - Representação das fibras usadas: a) Fibra unidirecional; b) Fibra biaxial; c) Fibra de carbono; d) Manta



Figura 17 - Disposição das várias camadas de fibra no molde

Matriz

A matriz resulta da mistura de resina e endurecedor e tem como funções manter as fibras na orientação pretendida, impedir que haja rotura das fibras, proteger contra danos causados por oscilações de temperatura, humidade, vento, etc. Para o efeito, é usada uma resina epóxi, que é um termoendurecível que tem como características: alta resistência mecânica, boa resistência à erosão, baixa absorção de humidade, baixas temperaturas de cura e boa estabilidade dimensional. Além disso, apresenta baixa viscosidade, o que facilita a infusão da resina, tornando o processo mais rápido. Antes de se dar a impregnação da peça com resina, é realizado vácuo na peça, extraindo todo o ar do seu interior. Só depois acontece o processo de infusão. Após terminar a infusão, inicia-se a cura, que consiste no aquecimento da peça através de resistências, com a finalidade de a peça atingir a temperatura de transição Vítrea (T_g), o que confere determinadas propriedades ao compósito. O processo de infusão a vácuo é um processo no qual as fibras são colocadas no molde. A resina é inserida recorrendo à pressão de vácuo. Este método permite a obtenção de peças de grandes dimensões e com geometrias complexas. É um processo demorado e a probabilidade de ocorrerem falhas durante a impregnação das fibras é grande, visto que as peças são de grandes dimensões e requerem prática das pessoas que montam o sistema de vácuo na peça, para que não existam fugas de ar.

Os principais elementos que constituem as pás são fabricados pelo processo de infusão a vácuo. Os elementos que fazem parte do núcleo são geralmente, madeira de balsa, espuma de politeraftalato de etileno (PET) ou policloreto de vinilo (PVC). São materiais que apresentam elevada leveza e espessura, distribuídos estrategicamente pela peça.

Carbono Pultrudido

O carbono pultrudido é um perfil maciço de secção constante, utilizado nas *Caps* (zona central da pá que apoia a *Web*). Este composto substitui camadas de fibra de vidro unidirecional e algumas das suas propriedades mais importantes são a sua leveza e o facto de ser um bom condutor elétrico, tendo como função fazer a descarga de energia para a terra, caso as pás sejam atingidas por raios. Caso a descarga não ocorra, a pá pode explodir e desintegrar-se.



Figura 18 - Bobines de carbono Pultrudido

6.3.2 PROCESSO DE FABRICO

De seguida são descritos os processos mais relevantes na produção dos pré-fabricados e pás:

- *Lay-up* – consiste na disposição das várias camadas de fibra no molde;
- *Remove Infusion Materials (RIM)* – materiais que ficam dispostos por baixo ou por cima das fibras, que têm como função auxiliar o processo de infusão da peça;
- Infusão – impregnação da mistura de resina e endurecedor nas fibras e core da pá por vácuo;
- Cura – processo térmico em que o compósito adquire as propriedades físicas e mecânicas desejadas;
- Ripagem – remoção dos materiais que serviram para a infusão da peça, após terminar o processo de cura;
- Desmoldagem – retirar a peça do molde em que foi fabricada;
- Corte – remoção de excessos/acerto de faces numa dada peça;
- Colagem – processo de fixação de peças, através da adição de cola;
- Acabamentos – fase do processo em que são reparados defeitos existentes na pá e se aplicam massas de acabamento, sendo posteriormente despolida e pintada.

Os processos secundários de produção devem ser garantidos, para que não exista falta de abastecimento de matéria prima no decorrer do fabrico das pás, os quais são:

- Corte de fibra – mudança física de rolo para camada com a forma pretendida;
- Preparação das máquinas de resina – abastecimento da máquina com resina e endurecedor para o processo de infusão;
- Preparação das máquinas de colagem – abastecimento da máquina com cola e endurecedor para o processo de colagem;
- Abastecimento de materiais – movimentação dos materiais dos armazéns para os moldes com auxílio de carros.

Os pré-fabricados (*Caps* e *Webs*) são as primeiras peças a serem produzidas. Posteriormente, são desmoldadas e transportadas para a secção de corte, enquanto, em simultâneo se produzem os insertos. Estas peças armazenam-se de seguida junto aos moldes principais (*Main Shell*).

No fabrico das duas *Shells*, o fluxo de abastecimento é semelhante ao dos pré fabricados, porém, os materiais são abastecidos nas *Main Shells*. Durante o seu *lay-up* são colocadas as *Caps* e as *Root Joints* nos moldes e é realizada a infusão, estas passam a integrar as peças principais.

A *Shell SS (Suction Side)* é a primeira a começar a produção. Este desfasamento, em relação à *Shell PS (Pressure Side)* vai permitir a colagem das *Webs* e calibradores nesta peça, enquanto a *Shell PS* cura da infusão.

Após a *Shell PS* atingir a temperatura de transição vítrea (T_g), é preparada para ser colada nas restantes peças e para se proceder ao fecho da pá. Segue-se mais um ciclo de cura para que a cola adquira as propriedades requeridas. De seguida, a pá é desmoldada e segue para a zona dos ultrassons onde se inspecionam as linhas de colagem e possíveis defeitos de infusão. Depois de serem identificados os defeitos/imperfeições, a pá segue para a nave dos acabamentos, onde é deixada na posição P0. Aqui são cortados os excessos de fibra ao longo da linha de colagem. Em P1 as linhas de colagem são reforçadas e aplicadas as massas de acabamento. Na fase P2 são montados os sensores LOPC (Laser Optical Plankton Counter), prepara-se o sistema de drenagem da pá e aplica-se uma fita antierosão no bordo de ataque do vento. Em P3 aplica-se a flange na face dos incertos e realizam-se as últimas ligações do sistema LPS (Lightning Protection System). Nesta fase inicia-se a pintura da pá.

Por fim, na posição P4 são finalizados os serviços de pintura da pá. Posteriormente a pá é pesada e calibrada e são colocadas etiquetas com instruções de transporte da pá. A mesma encontra-se pronta para sair do pavilhão dos acabamentos e seguir para expedição.

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

Os tempos de ciclo na fase de acabamentos são variáveis, pelo que vão depender dos defeitos identificados na pá pelos inspetores da qualidade. Devido ao processo global ser maioritariamente manual, existem variáveis como, temperatura, humidade, pressão atmosférica, que colocam em causa o resultado final, assim como o fator humano que também é significativo no processo de produção.

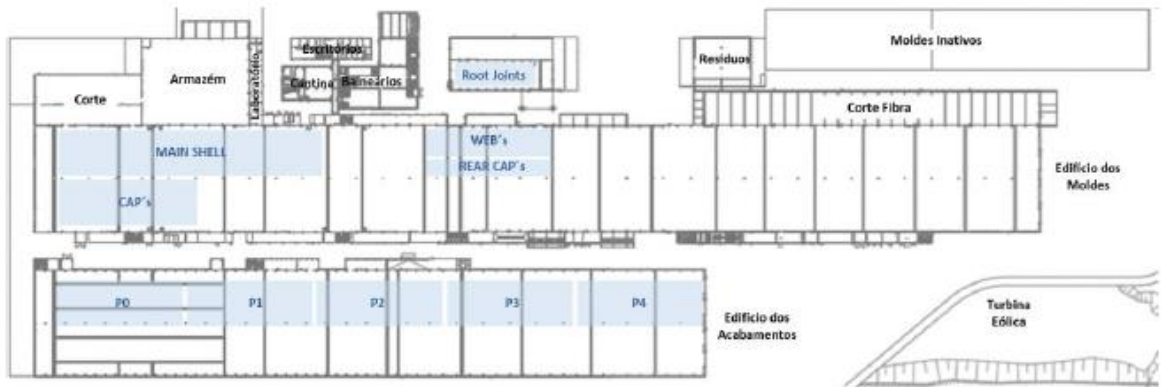


Figura 19 - Layout da fábrica (Fonte: Siemens Gamesa)

7 Enquadramento ao Projeto

7.1 Estrutura e critérios

Este trabalho de projeto tem como objetivo a implementação de um *dashboard* para monitorização dos indicadores de manutenção utilizados na fábrica Siemens Gamesa Renewable Energy. Para esse efeito, foram definidos os equipamentos, objeto de estudo e divididos em classes de acordo com os critérios de classificação, os quais foram escolhidos considerando as características de produção e a criticidade dos equipamentos estudados.

A estrutura do projeto consistiu nos seguintes pontos:

- 1 – Identificar os equipamentos críticos;
- 2 – Definição de indicadores/métricas a estudar de acordo com os dados disponíveis;
- 3 – Obter dados do tipo de manutenção efetuada em cada equipamento;
- 4 – Definir dashboard de indicadores de manutenção;
- 5 – Tirar conclusões sobre os resultados.

Os critérios utilizados e com maior significado são os seguintes:

- Nº de equipamentos disponíveis/ simultaneidade de utilização;
- Impacto causado na produção se ficarem indisponíveis por avaria, manutenção, etc;
- Custos do equipamento para a organização – aquisição, formação, manutenção, peças de reserva, melhorias ao equipamento, etc;
- MTBF;
- MTTR;
- Taxa de avarias;
- Qualidade do produto acabado.

No projeto são focados os equipamentos chave no processo de produção das pás. Contudo, existem equipamentos de utilização diária importantes para o processo, nomeadamente: ferramentas elétricas e pneumáticas, (lixadoras, rebarbadoras, berbequins, aparafusadoras, aspiradores, etc) equipamentos de elevação, (plataformas elevatórias, empilhadores) equipamentos de transporte, equipamentos de calibração e outros.

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

As ferramentas pneumáticas e elétricas não foram consideradas no estudo, devido aos seus custos de aquisição e manutenção não serem significativos para o projeto. Os equipamentos de elevação e transporte, dado que a grande maioria são alugados, a manutenção desses equipamentos é subcontratada, realizada por empresa externa.

A tabela seguinte mostra os equipamentos que fazem parte do estudo e a sua classificação consoante os critérios definidos anteriormente.

Tabela 7 - Classificação de equipamentos

Equipamentos	Classificação				Área
	Quantidade	A	B	C	
Moldes (SG145, SG155, SG170)	12	X			Moldes
Galácticas (SG145, SG155, SG170)	3	X			Moldes
Máq. corte fibra (Lectra)	2	X			Moldes
Célula de corte robotizada (Cutting robot RJ)	1	X			Moldes
Máq. de furar (Drilling machine)	1	X			Acabamentos
Sistema despolimento robotizado (CDR)	1	X			Acabamentos
Robot de inspeção de pás	2	X			Acabamentos
Máq. chanfrar carbono (PCP machine)	2	X			Moldes
Máq. misturadora de tinta	1		X		Acabamentos
Máq. misturadora de massa	2		X		Acabamentos
Máq. de infusão	15			X	Moldes
Máq. de cola	7			X	Moldes
Máq. impregnação de fibra	2			X	Moldes

Desgasificação Isenthal	1	X			Moldes
Pontes rolantes	10 + 4 conjuntos	X			Moldes + acabamentos

A 2ª etapa do projeto consistiu em identificar os indicadores de manutenção que fossem transversais aos equipamentos que vamos estudar. Para a implementação de indicadores, deverá haver dados concretos que permitam o seu cálculo e comparação com períodos homólogos. Os dados foram obtidos através do histórico de manutenção e relatórios semanais de indicadores definidos pela empresa.

A empresa faz uma avaliação semanal do tempo gasto em manutenção e da disponibilidade dos equipamentos. Os indicadores pelos quais a empresa se rege são:

- Disponibilidade dos equipamentos chave;
- Disponibilidade dos moldes;
- Disponibilidade global;
- Taxa HH manut. preventiva;
- Taxa HH manut. corretiva;
- Taxa HH projetos.

O relatório semanal tem presente o número de horas de manutenção preventiva e corretiva realizadas semanalmente e também o número de horas envolvidas em projetos, dos quais: melhorias/ upgrade de equipamentos e outros. O quadro da fig. 20 indica o número de horas de manutenção preventiva e corretiva realizadas, os equipamentos que estiveram parados e as causas de paragem. Permite ainda estabelecer uma comparação entre a disponibilidade da semana atual e da anterior para cada equipamento.

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

Preventive Maintenance				Curative Maintenance (Hr)			Projects		Production Stop (hr) due to maintenance	Mnt. Costs (month ⁻¹)	
Performed weekly	In delay	Prev. Hours	%Prev. Target: 20%	Moulds	Machines	%Corr. Target: 80%	Projects	%Proj.		Mach 2023	
32	55	147	21%	183	362	79%	0	0%	115	Real Cost	Budget
Availability (Target 95%)			CW37	CW38	Trend	Comments					
SG155 M1			100%	100%	=						
SG155 M2			100%	100%	=						
SG170 M1			100%	100%	=						
SG170 M2			100%	100%	=						
SG170 M6			100%	100%	=						
SG170 M7			100%	100%	=						
Cutting Robot RJ			100%	100%	=						
Sanding Robot			100%	98%	↓						
Impregnation Machine (MIA)			100%	100%	=						
Putty Mixing Machine			100%	100%	=						
Drilling Machine			100%	99%	↓						
Paint mixing machine			100%	100%	=						
Cutting Dry Fiber Machine - IX			100%	97%	↓	Small stops duw issues in the evacuation conveyer					
Cutting Dry Fiber Machine -			100%	97%	↓	Small stops duw issues in the evacuation conveyer					
Infusion Machines (15)			100%	100%	=						
Bonding Machines (7)			100%	100%	=						
Degasing system			100%	100%	=						
Gantry & Multitool			100%	100%	=						
PCP Machine			100%	100%	=						
NDT Robot Inspection			100%	60%	↓	Kuka#2 with issues. No response from supplier until now.					
Cranes			100%	98%	=	Finishin crane with problem in the motor. Replaced.					
TOTAL			100%	98%							

Figura 20 - Quadro semanal de manutenção de equipamentos (Fonte: Siemens Gamesa)

Tendo como base os tempos de funcionamento e tempos de manutenção dos equipamentos definidos anteriormente, conseguimos calcular e implementar indicadores objetivos para a manutenção, os quais MTBF, MTTR, taxa de avaria, disponibilidade e taxa HH manutenção. O MTBF dá-nos informação sobre o tempo que decorre, em média, entre duas avarias consecutivas; o MTTR representa o tempo de reparação do equipamento, que inclui tempos de diagnóstico, reparação, teste e validação do equipamento para serviço. Estes dois indicadores são essenciais para o cálculo da disponibilidade. A taxa de avarias exprime o número de avarias por unidade de utilização.

A análise dos indicadores selecionados permite-nos avaliar o desempenho do equipamento, perceber se a política de manutenção escolhida é a mais correta e planear as ações e estratégias a implementar. O objetivo de disponibilidade operacional da fábrica está fixado no intervalo de 95% a 100%. Os equipamentos que tenham disponibilidade inferior a 95% são considerados críticos para a fábrica, resultando em perdas de disponibilidade e de produtividade.

A 3ª etapa focou-se na recolha de dados dos equipamentos e do processo de fabrico.

O período temporal definido para recolha de dados de manutenção foi o ano de 2022 e o primeiro semestre do ano de 2023. Foram recolhidas informações relativas a tempos de mão de obra e custos para cada equipamento, para posteriormente calcular os indicadores.

De acordo com os tempos de trabalho de cada setor da fábrica e tempos de funcionamento dos equipamentos, vamos considerar os seguintes pressupostos:

Ano 2022

Nave dos Moldes:

- Funciona 5 dias por semana, 24h/dia
- Tempo paragem anual – 30 dias
- Tempo de abertura (moldes) = 22 dias x 11 meses x 24h

Nave dos Acabamentos:

- Funciona 7 dias por semana, 24h/dia
- Tempo paragem anual – 21 dias
- Tempo de abertura (acabamentos) = (365 – 21) dias x 24h

Ano 2023 (1º semestre)

Tempo de abertura (moldes) = 22 dias x 6 meses x 24h/dia

Tempo de abertura (acabamentos) = 30 dias x 6 meses x 24h/dia

O objetivo principal é calcular a disponibilidade operacional de cada equipamento, sendo aquela que considera os tempos de disponibilidade do equipamento, tempos em que este se encontra inoperacional, tempos de reparação e de manutenção preventiva e os tempos de origem técnica e logística. Pelo facto de não conseguir definir com exatidão os tempos em que o equipamento se encontra inoperacional e os tempos técnicos e logísticos que são necessários em cada intervenção vamos considerar para os cálculos o tempo despendido em manutenção programada e não programada e o tempo requerido de funcionamento, tempo em que o equipamento se encontra disponível. O parâmetro que afeta diretamente a disponibilidade é o MTBF, sendo que quanto maior for o tempo entre avarias consecutivas, maior será a disponibilidade do equipamento.

Para a análise dos equipamentos, foi considerado o critério de disponibilidade que se define por:

0 – 93% – Equipamento NOK

93 – 95% – Equipamento aceitável

95 – 100% – Equipamento OK

De acordo com o critério indicado, os indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade operacional foram calculados para cada equipamento e analisados os equipamentos de produção mais críticos, tendo como base as manutenções realizadas e os custos de manutenção nos anos de 2022 e 2023.

7.2 Análise de equipamentos

7.2.1 GRUPO DOS MOLDES

Foram analisados 12 moldes no total, de entre os quais os moldes SG145 M6, SG155 M2 e SG170 M1 foram considerados os mais críticos (Tabela 8).

Tabela 8 - Indicadores de desempenho dos moldes

Ref. SAP	Equipamento	MTBF (horas)	Disponibilidade 2022	MTBF (horas)	Disponibilidade 2023
314269	Main Shell SG145 M6 SS	126,26	96,62	73,67	89,09
314267	Main Shell SG145 M9 SS	116,16	96,53	79,2	96,16
314632	Main Shell SG155 M1 SS	109,58	96,44	79,2	94,06
314633	Main Shell SG155 M1 PS	152,84	98,92	88,00	96,57
315367	Main Shell SG155 M2 SS	101,89	95,15	68,87	91,21
315368	Main Shell SG155 M2 PS	135,07	97,97	75,43	94,56
314959	Main Shell SG170 M1 SS	81,80	96,64	64,65	88,00
314960	Main Shell SG170 M1 PS	129,07	96,64	121,85	96,79
315365	Main Shell SG170 M2 SS	105,60	95,75	105,60	97,62
315366	Main Shell SG170 M2 PS	176,00	98,49	121,85	97,54
315924	Main Shell SG170 M6 SS	242,00	98,66	60,92	93,69
315925	Main Shell SG170 M6 PS	193,60	99,15	117,33	94,89

No ano 2022 a disponibilidade dos moldes está dentro do intervalo pretendido, acima de 95%. Em 2023, o indicador MTBF teve um decréscimo em quase todos os moldes, tendo como consequência a baixa de disponibilidade. O aumento das ordens de trabalho corretivas, “fez disparar” os custos de manutenção (Figura 21).

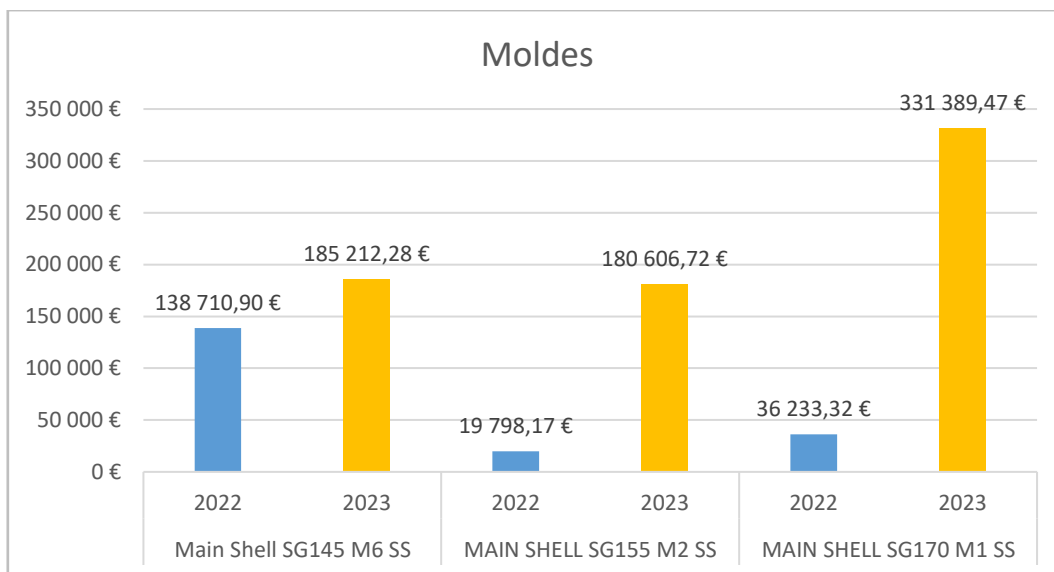


Figura 21 - Custo anual dos moldes

Em 2023 os moldes SG145 M6SS, SG155 M2SS e SG170 M1SS foram os mais críticos. O molde SG145 M6SS teve uma disponibilidade de cerca de 97% em 2022, com um custo de manutenção anual a rondar os 140000€. Em 2023, a disponibilidade caiu para um valor muito baixo, de 89%, o que explica o aumento dos custos de manutenção em 33% comparando com o ano anterior. Este molde teve algumas intervenções ao longo do ano que se destacam pelo custo gerado, que foram: polimentos da superfície do molde (manutenção preventiva), investimento de 165000€ na aplicação de um novo revestimento do molde, várias substituições de mangueiras de infusão devido ao facto de a resina solidificar no seu interior.

O molde SG155 M2SS em 2023 teve algumas reparações críticas, das quais: reparação da superfície do molde, sucessivos polimentos ao molde (manutenção preventiva), renovação da tubagem de vácuo do molde e medições usando um lasertracker, sendo estas as intervenções de maior custo. Contudo, ocorreram também reparações de componentes do molde, que não foram tão significativas, sendo a grande maioria comuns ao grupo dos moldes.

O molde SG170 M1SS teve um grande número de reparações que incrementaram os custos de manutenção para um valor quase 10 vezes superior relativamente ao ano de 2022. O molde foi alvo de várias reparações das quais: manutenção hidráulica anual (manutenção preventiva), manutenção geral do molde, construção de nova tubagem de vácuo, verificação da ovalização nas pás, polimentos realizados ao molde (manutenção preventiva), realocização dos termopares no molde, reparação de componentes do molde e mudança de produto. Existiram outras intervenções de reparação de avarias e problemas de leitura em sensores que foram pouco significativos tendo em conta o custo das reparações mencionadas anteriormente.

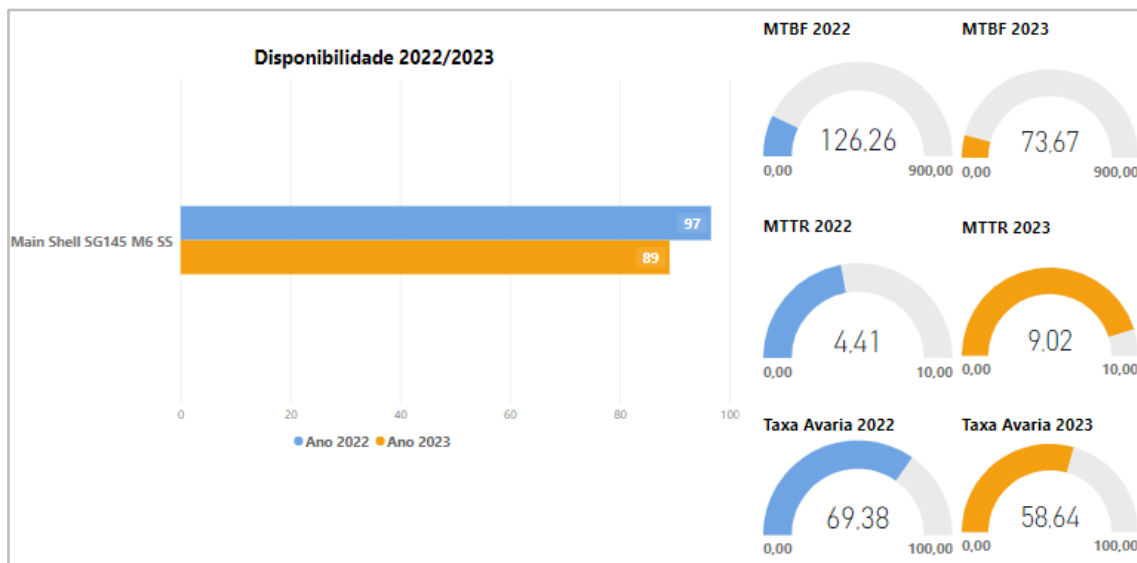


Figura 22 - Dashboard molde SG145 M6 SS

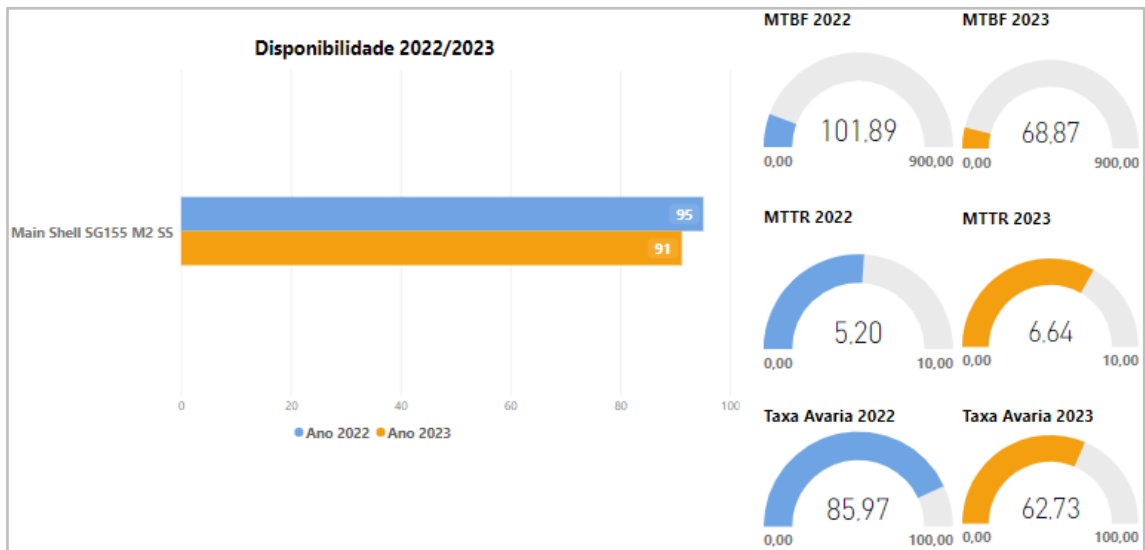


Figura 23 - Dashboard molde SG155 M2 SS

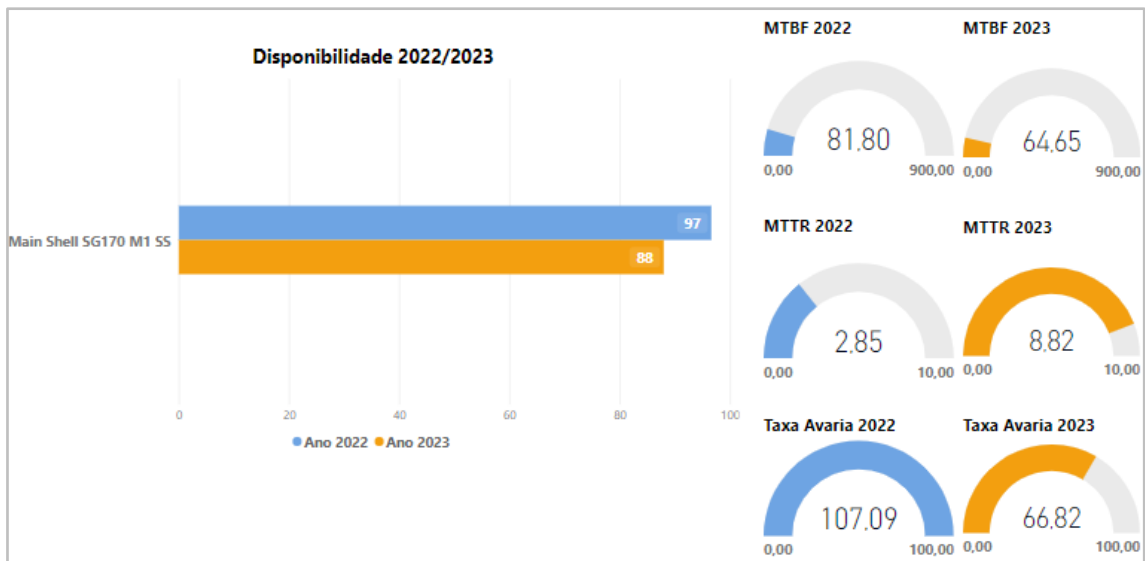


Figura 24 - Dashboard molde SG170 M1 SS

7.2.2 Grupo dos robots

O grupo dos robots é constituído pelos seguintes equipamentos:

- Célula de corte robotizada;
- Sistema de despolimento robotizado;
- Robots de inspeção de pás por ultrassons.

Tabela 9 - Indicadores de desempenho equipamentos robotizados

Ref. SAP	Equipamento	MTBF (horas)	Disponibilidade 2022	MTBF (horas)	Disponibilidade 2023
305760	Célula corte robotizada	645,3	99,6	633,6	99,7
307007	Sistema despolimento robot. roboplan	67,7	93,7	110,8	96,3
315407	Robot ensaios NDT UT #1	207,4	97,8	88,00	95,7
402018689	Robot ensaios NDT UT #2	103,7	97,6	73,7	94,3

A célula de corte robotizada e os robots de inspeção por ultrassons fazem parte do pavilhão dos moldes, estando em funcionamento 5 dias por semana. O sistema de despolimento robotizado faz parte do pavilhão dos acabamentos e está em funcionamento 7 dias por semana. As intervenções mais significativas à célula de corte foram a substituição de discos de corte, considerados consumíveis da máquina. As avarias registadas foram ao nível dos hidráulicos e indexadores da máquina. A disponibilidade não apresentou variação de 2022 para 2023.

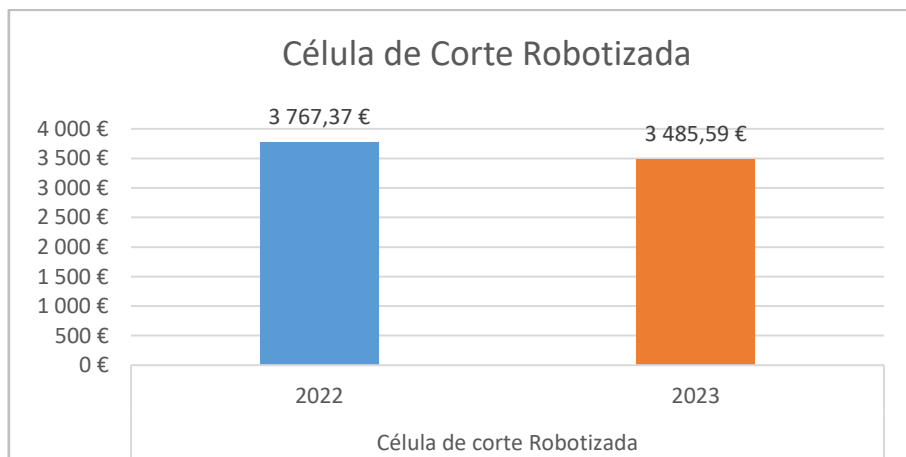


Figura 25 - Custo anual célula de corte robotizada

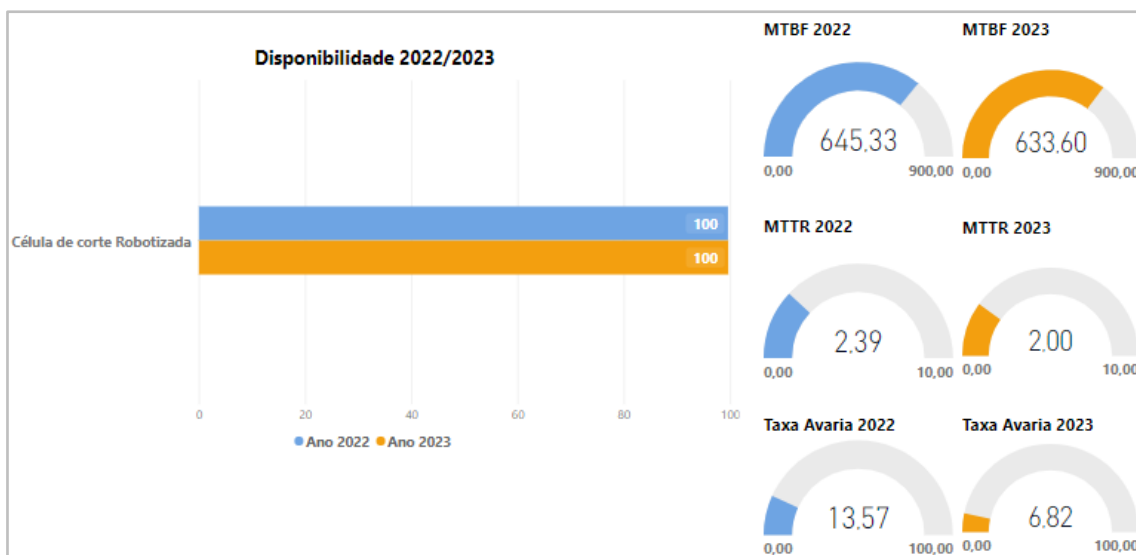


Figura 26 - Dashboard da célula de corte robotizada

No ano de 2022, o sistema de despolimento robotizado teve paragens frequentes do robot, reparação de componentes e substituição de peças danificadas. Além disso, as ferramentas de lixagem foram alvo de um retrofit, que fez incrementar os custos.

No ano de 2023, ocorreu uma manutenção geral ao grupo hidráulico, sendo esta manutenção preventiva. Paralelamente ao ano de 2022, ocorreram várias intervenções de ordem corretiva, das quais se destacam a reparação da jardineira (ferramentas de lixagem), substituição do motor da jardineira, reparação das rodas e carris onde circula o robot, reparação do rugosímetro e várias microparagens do robot. Estas microparagens do equipamento devem-se à ineficiência do sistema de aspiração, sendo para instalar novo sistema de aspiração ainda durante o ano de 2023. O número elevado de paragens do equipamento justifica o valor de MTBF baixo.

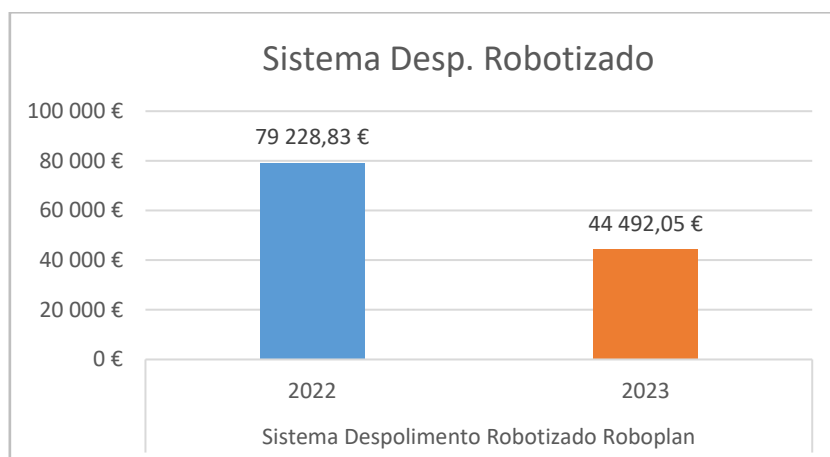


Figura 27 - Custo anual sistema despolimento robotizado

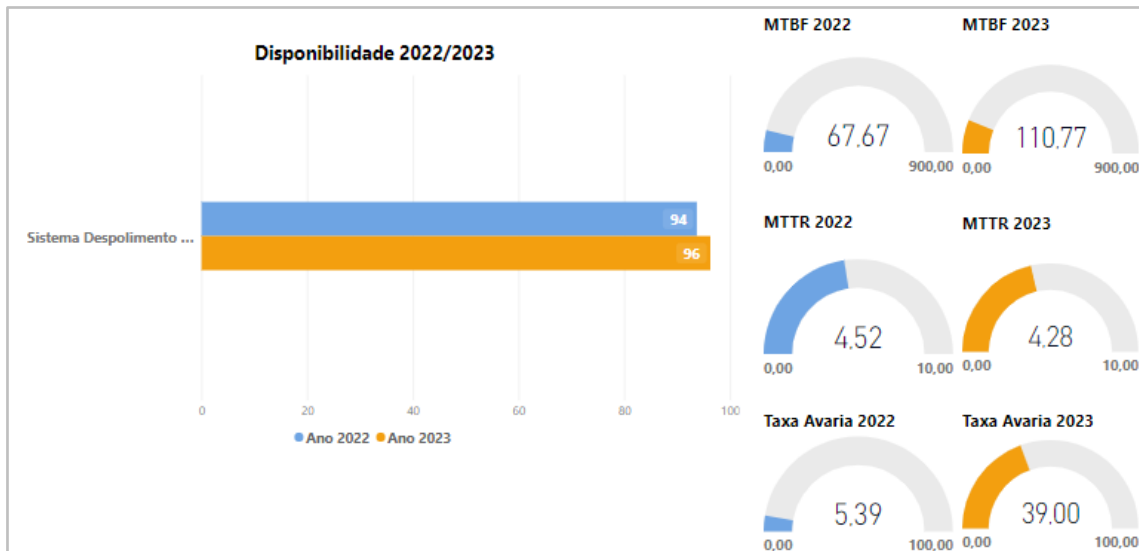


Figura 28 - Dashboard do sistema despolimento robotizado

7.2.3 Robot de inspeção de pás

O robot de inspeção tem como função testar as pás por ultrassons, antes de estas entrarem na fase de acabamento. Os pontos avaliados são as linhas de colagem da pá e defeitos de infusão. Na fábrica existem dois robots de ultrassons, o equipamento consiste num sistema de inspeção autónomo, composto pelos seguintes elementos:

- AGV (Automated Guided Vehicle);
- Plataforma base para fixação de elementos;
- Robot de 6 eixos;
- Sistema de alimentação do robot e outros elementos (exceto o AGV);
- Cabeçote do robot.

O cabeçote do robot é constituído por:

- Sistema de inspeção por ultrassons com sensores de ultrassom e abastecimento de água;
- Sistema de marcação da pá para referência;
- Sistema de deteção da janela de trabalho e referência;
- Sistema de abastecimento e sucção de água.



Figura 29 - Vista lateral e painel de comando do robot de ensaios "Kuka"

O MTBF de ambos os equipamentos diminuiu em 2023, consequência do aumento do número de avarias. Relativamente ao robot NDT UT 1, este é um equipamento que apresentou várias falhas relacionadas com sensores e sondas, o que implicou na maioria dos casos a sua substituição e parametrização. Ocorreram frequentemente erros de sistema e falhas de comunicação com o PLC (Programmable Logic Controller – Controlador Lógico Programável), o que impossibilita o funcionamento do robot. O equipamento teve também intervenções ao nível do AGV, uma das quais a substituição das rodas do AGV e algumas avarias que impossibilitaram o funcionamento do mesmo.

As paragens do robot NDT UT 2 foram à semelhança do robot NDT UT 1 falhas de sinal em sensores, avarias em componentes e substituição de peças por desgaste. Verificaram-se várias ocorrências de entupimento de sondas e canais de saída de água, problemas na bomba de água, avarias no AGV, etc. A intervenção que gerou maior impacto nos custos do equipamento foi o AGV, no valor de 30000€ em 2023. As rodas do AGV são um componente problemático, dado que apresentam baixa durabilidade. Estão a ser estudadas juntamente com o fornecedor alternativas às rodas utilizadas, de modo a aumentar a sua durabilidade.

É um equipamento muito sensível, que requiere monitorização contínua da parte dos operadores e técnicos de manutenção.

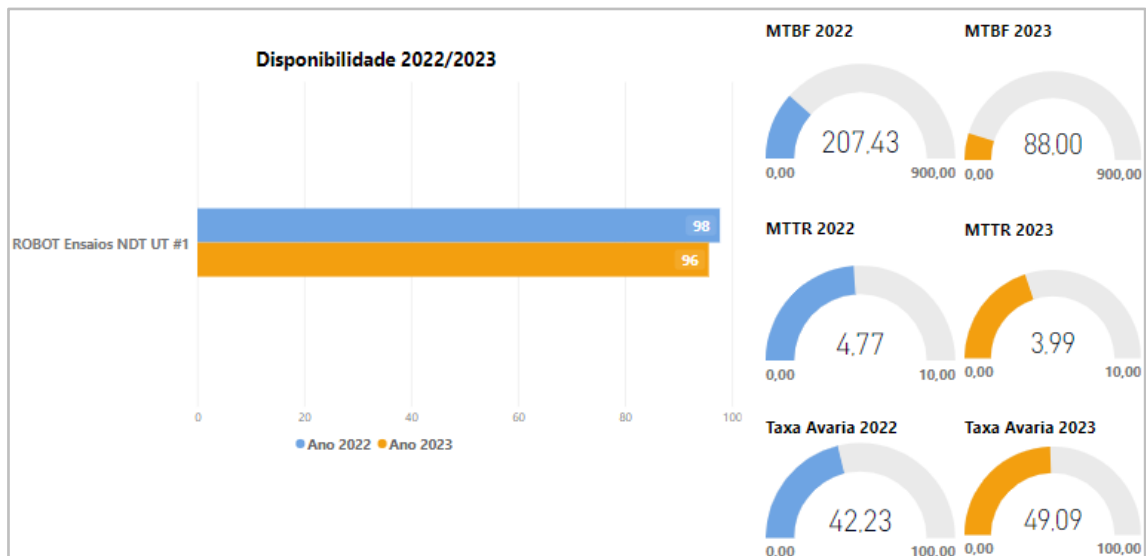


Figura 30 - Dashboard Robot UT 1

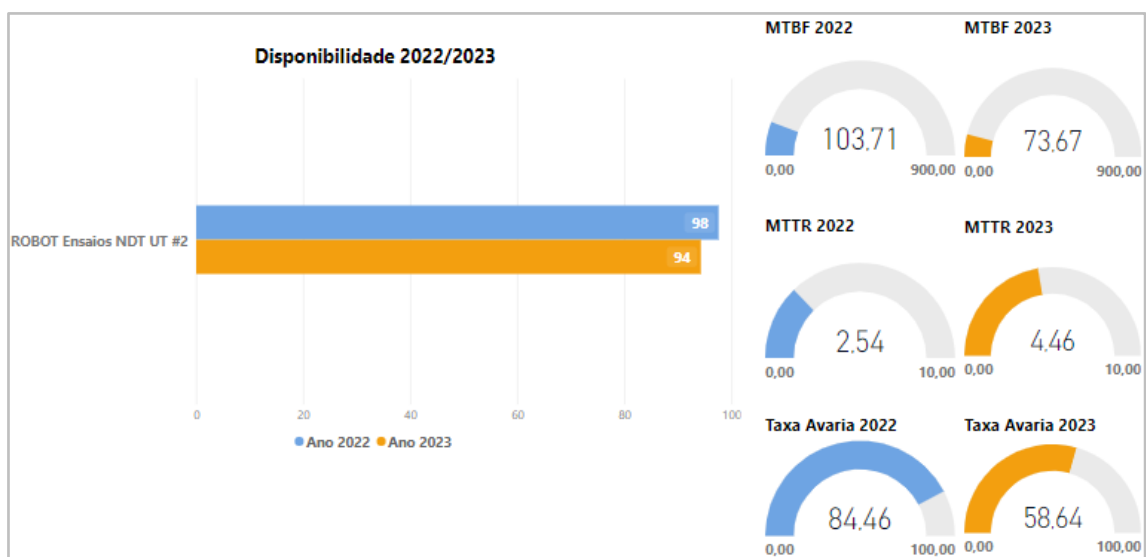


Figura 31 - Dashboard Robot UT 2

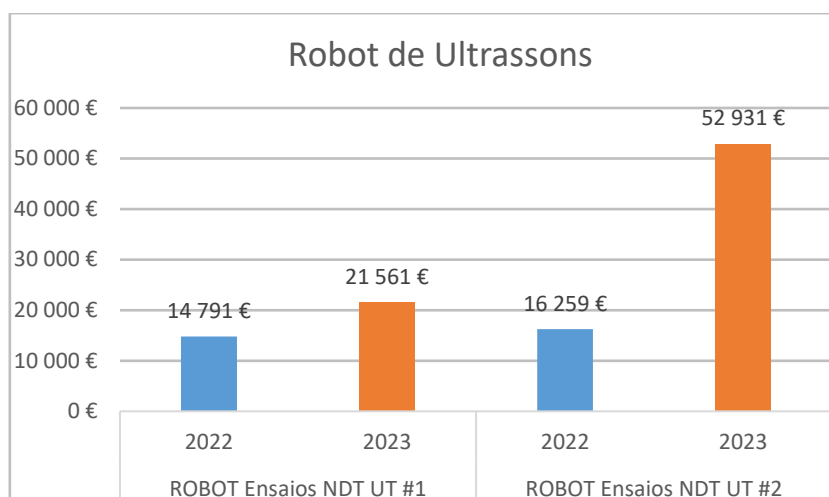


Figura 32 - Custo anual robot ultrassons

7.2.4 DRILLING MACHINE

A drilling machine tem como funções: cortar, fresar e fazer a furação radial e axial. Faz parte do pavilhão dos acabamentos e funciona 7 dias por semana.

Atualmente existem duas Drilling Machine, uma das quais é um equipamento novo, tendo entrado em funcionamento à menos de 6 meses. No projeto não vai ser abordada essa máquina, dado que os dados disponíveis não são suficientes para poder tirar conclusões sobre o seu funcionamento.

Este equipamento em específico, tem paragens frequentes para troca de brocas, fresas e discos de corte. Estas ferramentas são consumíveis do equipamento, que são substituídos devido ao seu desgaste natural ou a ficarem danificados em operação. A nível de custo e dada a especificidade do material, são ferramentas dispendiosas, mas no geral não comprometem a disponibilidade do equipamento, visto que a sua substituição não é considerada uma avaria.

Existem avarias frequentes no sistema de aspiração da máquina, devido a fugas, mangueiras danificadas, falhas devidas a sensores danificados, etc. São frequentemente realizados ajustes e calibrações ao equipamento. Os custos com maior significado são das ferramentas e alterações realizadas ao equipamento para adaptação a outros projetos.

Tabela 10 - Indicadores de desempenho drilling machine

Ref. SAP	Equipamento	MTBF (horas)	Disponibilidade 2022	MTBF (horas)	Disponibilidade 2023
314635	Drilling machine	97,13	97,7	105,37	96,9

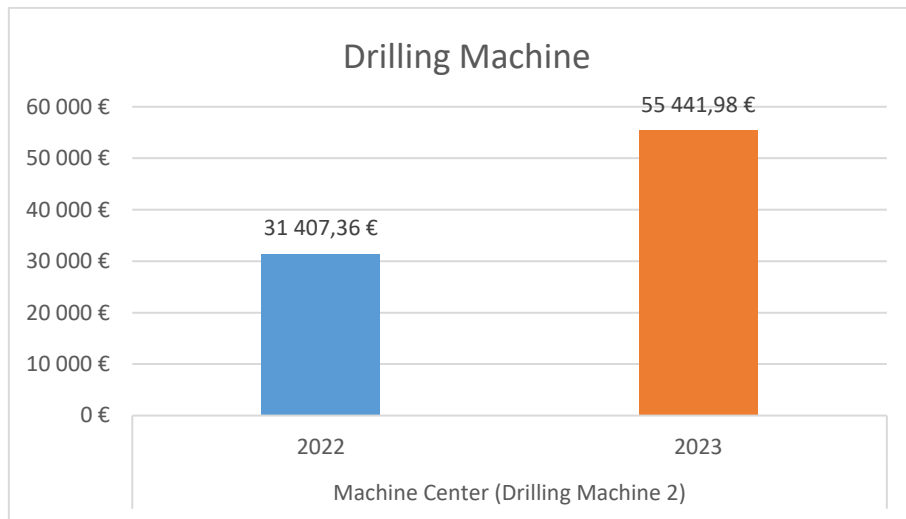


Figura 33 - Custo anual drilling machine

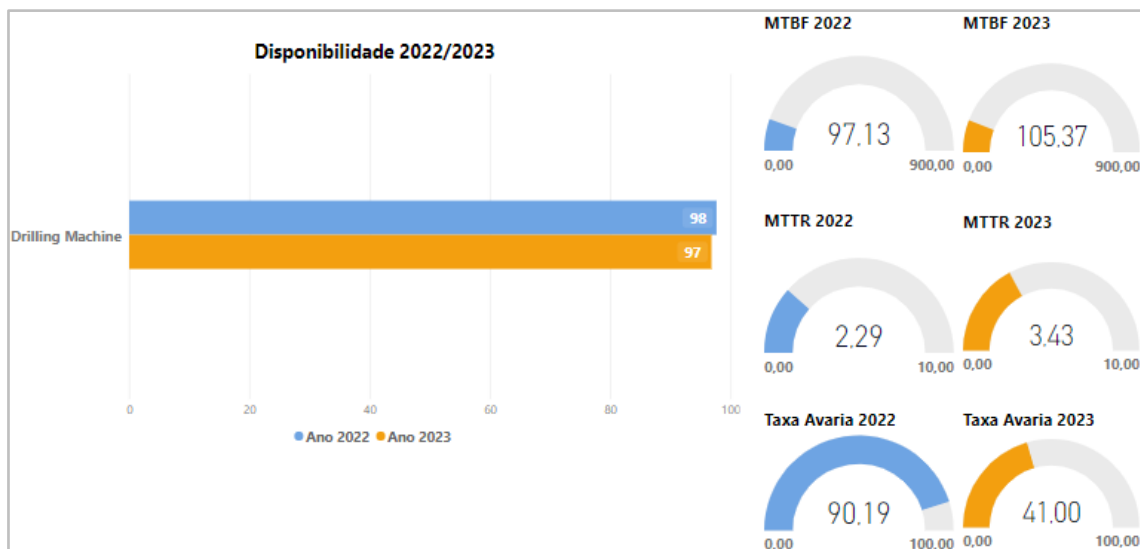


Figura 34 - Dashboard drilling machine

A disponibilidade da Drilling machine teve uma pequena descida em 2023, passando de 97,7% para 97% (Figura 34). O MTBF teve uma alteração que não foi significativa para o equipamento. Os resultados devem-se sobretudo a paragens frequentes para ajuste de componentes específicos da máquina e anomalias no sistema de aspiração, sendo que o valor de disponibilidade se encontra dentro dos objetivos.



Figura 35 - Drilling machine

7.2.5 MÁQUINAS DE CORTE DE FIBRA

As máquinas de corte de fibra são respetivamente, a máquina *Techtex VT-TT-IX 100* e a *Lectra FX* (Tabela 11). Têm como função fazer o corte das fibras, sendo estas acondicionadas em rolo e depois aplicadas na Shell e nos pré-fabricados. Estes equipamentos apresentam uma disponibilidade que ronda os 98%.

Tabela 11 - Indicadores de desempenho máq. corte de fibra

Ref. SAP	Equipamento	MTBF (horas)	Disponibilidade 2022	MTBF (horas)	Disponibilidade 2023
309761	Maq Corte Vector Techtex VT-TT-IX100	264	97,7	211,2	98,11
300698	Máquina de Corte Fibra Lectra FX	181,50	97,23	243,69	98,22

A máquina *Techtex VT-TT-IX 100* teve um custo total em 2022 de 16000€ e em 2023 teve um custo de quase 34000€ (Figura 37), considerando o período de janeiro a setembro de 2023. Em 2023 as intervenções que se destacam são manutenção realizada à máquina, troca dos brissels, renovação do contrato de manutenção relacionado com software da máquina.

No ano 2022, observaram-se algumas avarias relacionadas com hardware, problemas com alguns componentes e substituição de peças devido a desgaste normal.

A disponibilidade da Lectra FX em 2022 foi de 97%, subindo em 2023 para 98% em que se verifica a subida do MTBF (Figura 39). Em 2022 verificaram-se várias paragens devido a anomalias relacionadas com o tapete e componentes danificados. O equipamento teve como reparações de maior importância: substituição dos brissels, substituição de rolamento gripado no prato calcador, afinação do pente, reparação de outras avarias e renovação do contrato de manutenção com fornecedor externo. É realizada frequentemente limpeza das correntes e chumaceiras da máquina, que faz parte da manutenção preventiva.

Ambos os equipamentos apresentam uma disponibilidade elevada, não havendo necessidade de efetuar alterações à sua manutenção.



Figura 36 - Máquina corte de fibra

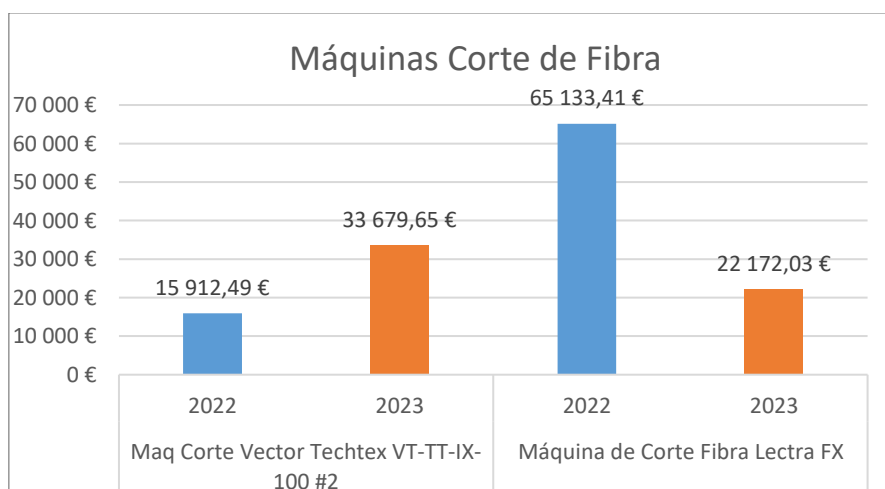


Figura 37 - Custo anual máquinas corte de fibra

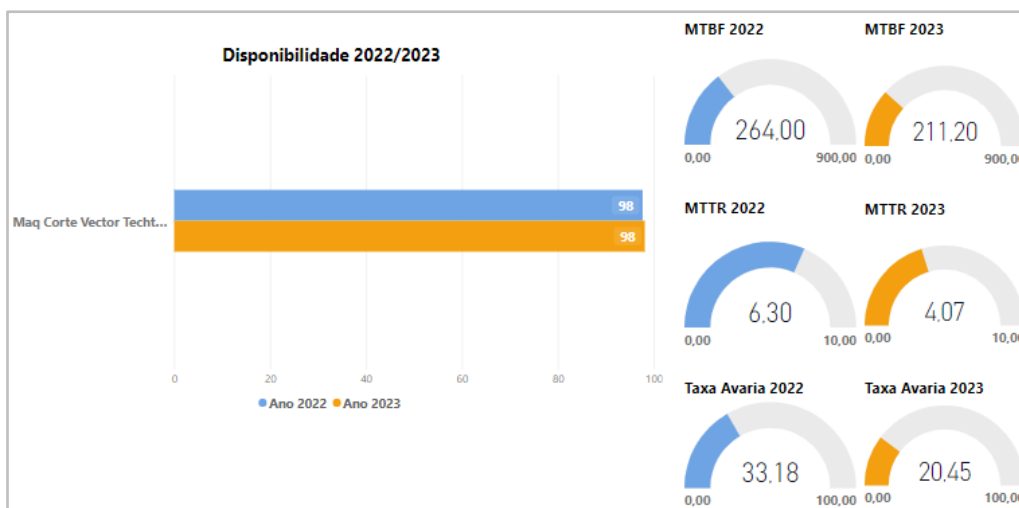


Figura 38 - Dashboard máq. corte VT TT IX 100

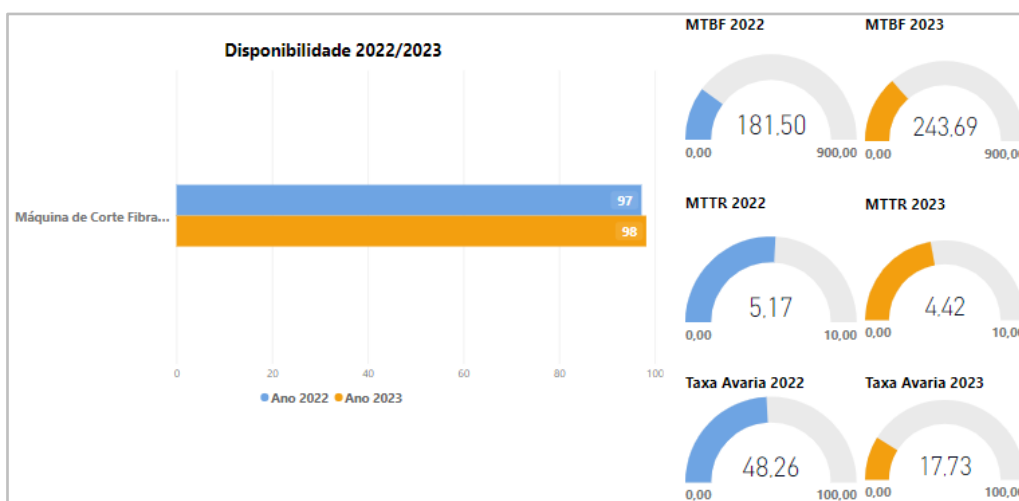


Figura 39 - Dashboard máq. corte FX

7.2.6 GRUPO DAS GALÁTICAS

O grupo dos equipamentos de elevação é constituído pelas galáticas e multitool. Estes equipamentos permitem a mobilidade e sustentação das peças que constituem a pá.

Neste projeto apenas foi analisado o grupo das galáticas, por motivo de não tornar o projeto demasiado extenso. O grupo é constituído por quatro galáticas, nomeadamente (Tabela 12):

- Galática Webs Gurit SG155
- Galática Webs Gurit SG170
- Galática Webs Hawart SG170
- Galática Webs Gurit SG145

Tabela 12 - Indicadores de desempenho Galáticas

Ref. SAP	Equipamento	MTBF	Disponibilidade 2022	MTBF	Disponibilidade 2023
314663	Galáctica Webs Gurit SG155	232,32	96,32	396	99,3
314967	Galáctica Webs Gurit SG170	341,6	99,4	211,20	98,11
315932	Galáctica Webs Hawart SG170	414,9	98,33	186,35	96,3
314284	Galáctica Webs SG 145	121	94,34	288	98,48

A galáctica SG155 teve uma disponibilidade inferior em 2022, como se pode observar no dashboard da Figura 42. As intervenções de maior significado foram: construção de braços de alumínio, desenvolvimento de protótipo para braço, substituição de peças (Swacs), montagem de laser webs, reparação da galáctica ao nível dos braços e outras reparações. Em 2023 ocorreram menos paragens por avaria, o que se traduz num aumento do MTBF e da disponibilidade para 99%.

A galáctica SG170 teve uma intervenção de reparação em 2022 no valor de 7200€, sendo esta a mais importante. Os restantes trabalhos de manutenção são relativos a pequenas reparações. Em 2023 o MTBF diminuiu, devido a avarias constantes no braço da galáctica (Figura 43).

A SG170 HAWART teve um MTBF superior em 2022. As intervenções mais importantes foram: a aplicação do braço da rear web, instalação de selector na galáctica e a realização de ajustes na galáctica. Em 2023, o MTBF teve um decréscimo considerável, conforme podemos verificar no dashboard (Figura 44), resultante de avarias constantes: sensores danificados, reparação e afinação de braços, outras anomalias decorrentes do uso da galáctica.

A SG145 em 2022 teve duas intervenções de inspeção e reparação, consideradas as mais significativas em custos, no valor de 6600€ e 7300€. As restantes intervenções estão concentradas na substituição de componentes da galáctica danificados, afinações e ajuste de componentes e ainda manutenção preventiva. Este equipamento foi desativado em maio de 2023, dado que o projeto SG145 deixou de ser produzido.

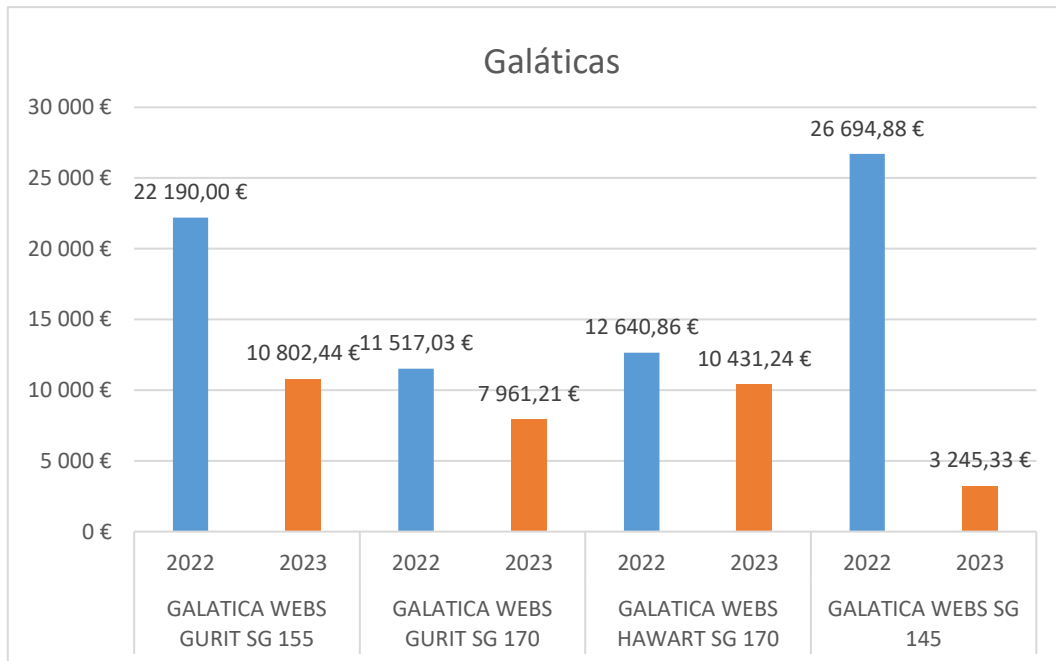


Figura 40 - Custo anual Galáticas



Figura 41 - Galática

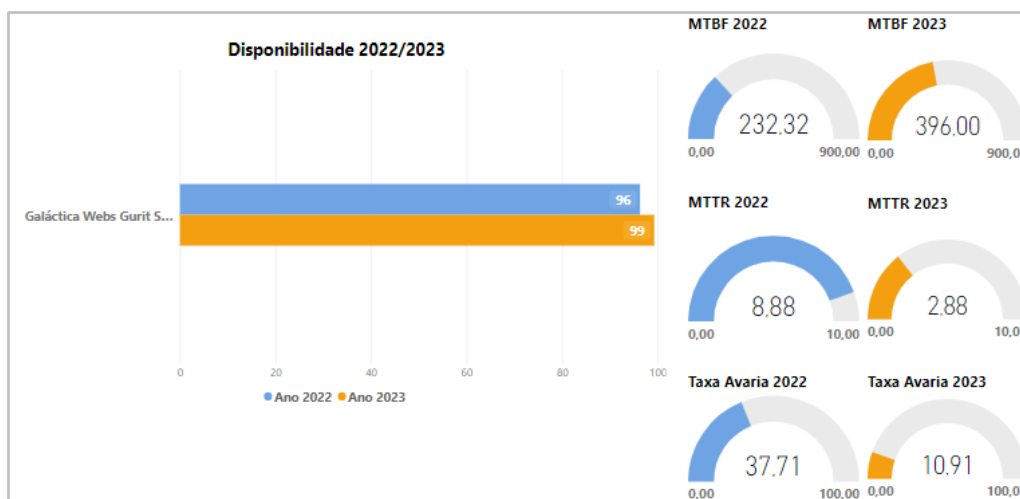


Figura 42 - Dashboard Galáctica SG 155

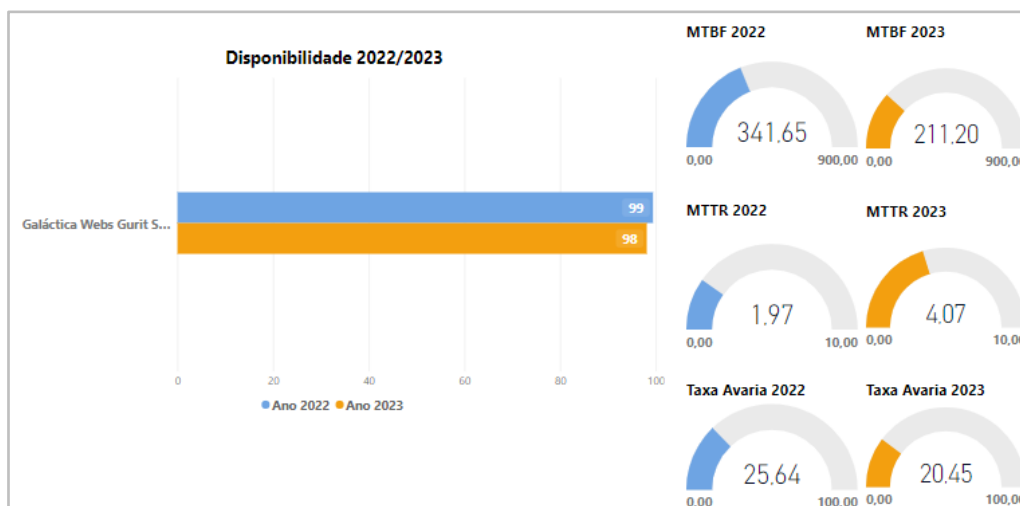


Figura 43 - Dashboard Galáctica SG170

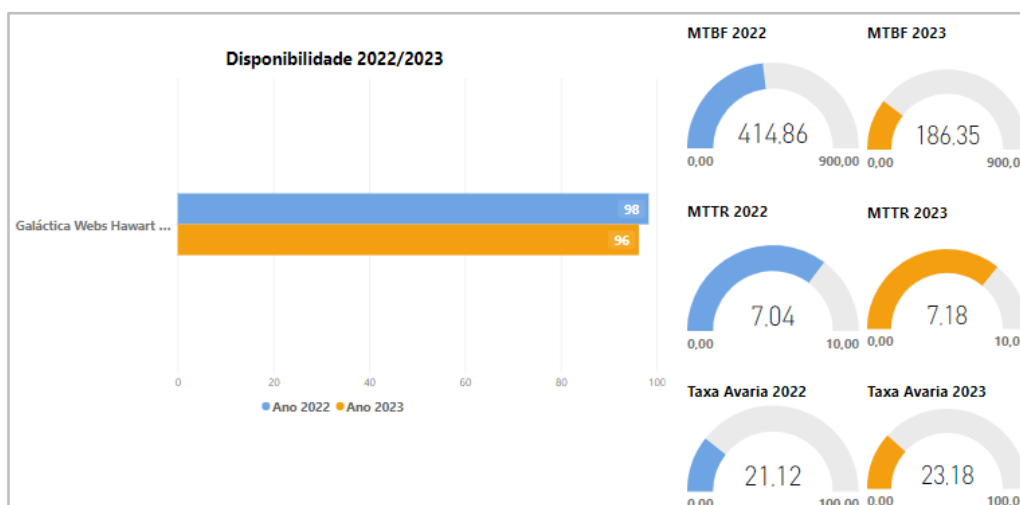


Figura 44 - Dashboard Galáctica SG170 HAWART

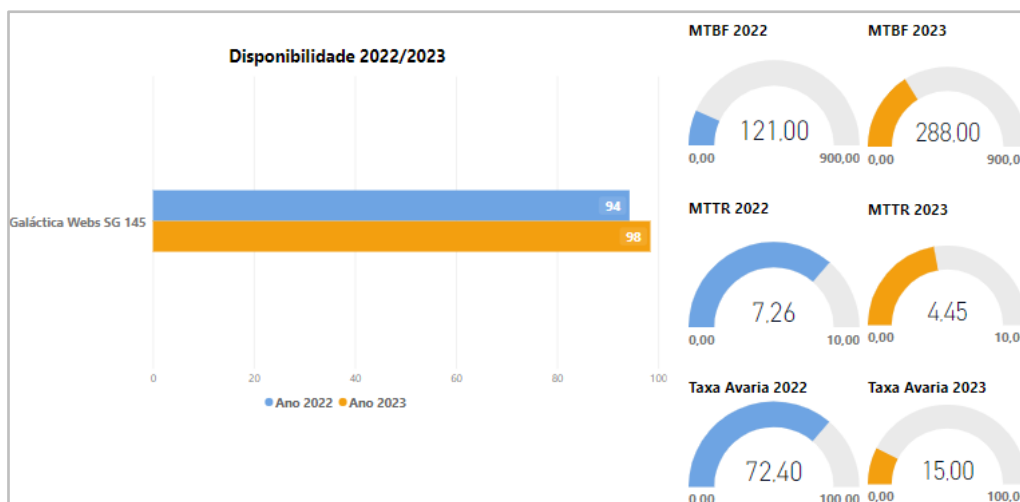


Figura 45 - Dashboard Galáctica SG 145

7.2.7 MÁQUINA CHANFRAR CARBONO – PCP MACHINE

A PCP é a máquina de chanfrar carbono. A fábrica possui dois equipamentos de fabricantes diferentes (Tabela 13):

- PCP machine AB Inventech;
- PCP machine Eltronic.

No ano 2022 tiveram disponibilidades muito semelhantes, tendo-se notado uma descida de disponibilidade mais acentuada em 2023 da PCP ABI, de 98% para 96%. A razão que explica este decréscimo é a descida do indicador MTBF e o aumento do MTTR, conhecido como tempo médio de reparação.

Tabela 13 - Indicadores de desempenho máq. chanfrar carbono

Ref. SAP	Equipamento	MTBF	Disponibilidade 2022	MTBF	Disponibilidade 2023
315651	PCP machine ABI	215,11	98,4	166,74	95,7
314790	PCP machine Eltronic	387,2	99	396	98,9

A máquina de chanfrar carbono PCP ABI em 2022 teve uma disponibilidade de 98,4%. As paragens foram originadas por falhas de mau posicionamento da máquina que executa o chanfro, problemas no autómato e também falhas de energia.

Em 2023 registaram-se avarias relacionadas com o autómato, erros de leitura dos sensores, substituição dos drivers danificados, o que se traduziu numa diminuição do MTBF. As avarias de custo superior são relativas ao autómato e à substituição dos drivers.

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

As avarias de maior significado da PCP Eltronic estão relacionadas com calibração de chanfros. O MTBF praticamente não sofreu alteração e a disponibilidade permaneceu constante. As duas PCP tiveram uma disponibilidade alta em 2022. Em 2023 ocorreram intervenções no automático que fizeram incrementar os custos e baixar a disponibilidade na PCP ABI.

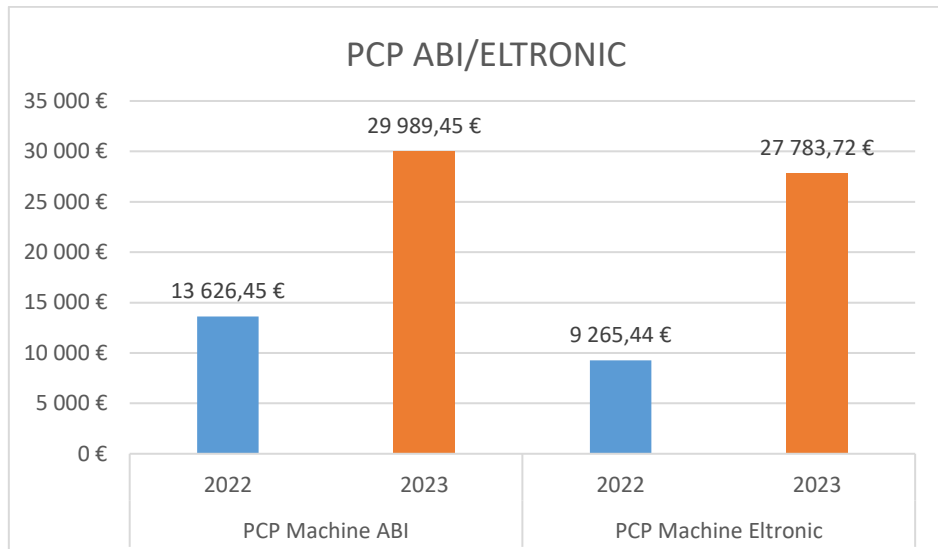


Figura 46 - Custo anual máq. chanfrar carbono

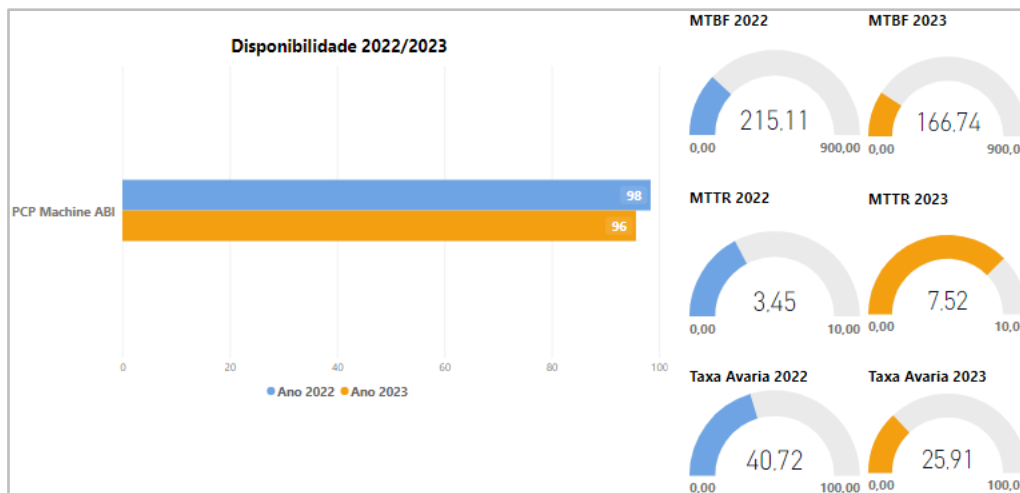


Figura 47 - Dashboard máq. chanfrar carbono ABI

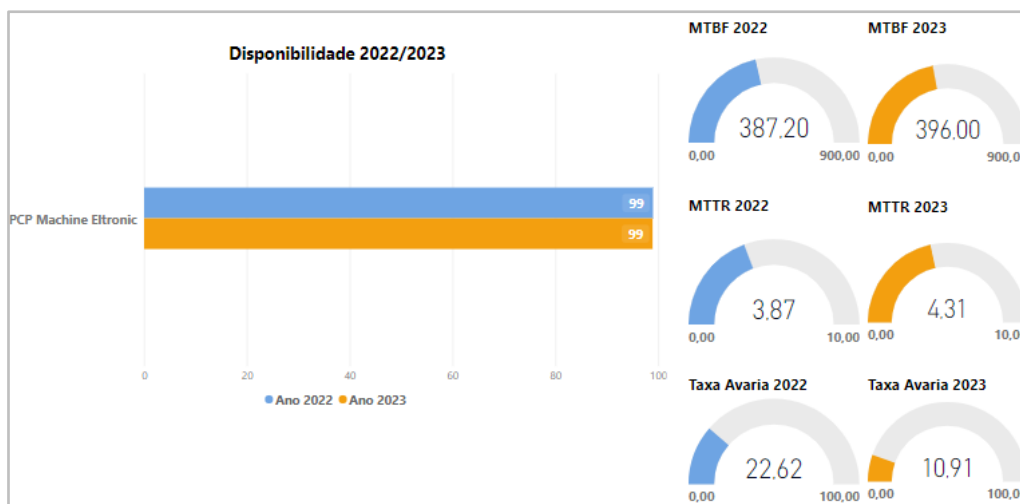


Figura 48 - Dashboard máq. chanfrar carbono Eltronic

7.2.8 SISTEMA DE DESGASIFICAÇÃO ISENTHAL

O sistema de degasificação Isenthal (Figura 49) é constituído por reservatórios que armazenam resina e endurecedor, bombas de resina, bombas de endurecedor, motores de degasificação e todos os componentes que constituem o sistema: tubos de circulação de resina e endurecedor, manómetros de pressão e temperatura, medidores de caudal e outros componentes.

A função deste sistema é remover o gás presente na resina, antes de esta ser enviada para as estações de abastecimento de resina que se encontram em local próprio. As estações de abastecimento fazem a mistura do rácio correto de resina/endurecedor para o processo de infusão de resina na pá.



Figura 49 - Sala de degasificação Isenthal

Tabela 14 - Indicadores de desempenho Isenthal

Ref. SAP	Equipamento	MTBF (horas)	Disponibilidade 2022	MTBF (horas)	Disponibilidade 2023
306485	Sistema Desgasificação Isenthal	101,89	91	198	97,3

Em 2022 as avarias que envolveram maiores gastos foram o sistema de verificação de rácio resina/endurecedor, tendo este sido alvo de melhoria; avaria no motor de desgasificação, problema na linha de endurecedor, substituição da bomba desgasificação, avarias e fugas frequentes nas bombas de endurecedor e falhas no abastecimento de resina.

Considerando os cálculos efetuados, o equipamento no ano de 2022 teve uma disponibilidade de 91%, considerada muito baixa, ao que se deve à ocorrência de avarias frequentes nas bombas de desgasificação e de endurecedor, motores e ao nível do sistema Isenthal.

Em 2023 a disponibilidade subiu para 97%, tendo ocorrido avarias ao nível de desgasificação de resina e abastecimento de resina. Ocorreram fugas nas bombas de endurecedor das estações de abastecimento, fugas na rede de ar comprimido, erros devido a pressão de trabalho de desgasificação não conforme, mangueiras de resina danificadas pela solidificação da resina no seu interior, entre outras avarias referentes ao sistema Isenthal e estações de abastecimento. Este tipo de avarias são as mais comuns segundo a análise feita aos dois anos de funcionamento do equipamento. O facto de realizar manutenção preventiva permite atenuar certo tipo de avarias, como por exemplo, fugas nas bombas e na rede de ar comprimido. Foi realizada no período de paragem da fábrica uma intervenção preventiva no valor de 39000€, sendo esta a mais representativa dos custos de manutenção em 2023.

O departamento de manutenção consegue monitorizar o funcionamento da Isenthal 24/24h, através de um sistema de monitorização específico, que permite o acesso a várias variáveis de funcionamento do equipamento. Em caso de avaria, são analisadas as variáveis do equipamento, afim de identificar a causa/causas que desencadearam a avaria e efetuar a reparação ou substituição dos componentes avariados. Este é um equipamento complexo, que envolve vários outros componentes, devendo ser continuamente monitorizado, afim de evitar paragens ou reduzir o tempo de paragem, sendo um equipamento crucial para a produção.

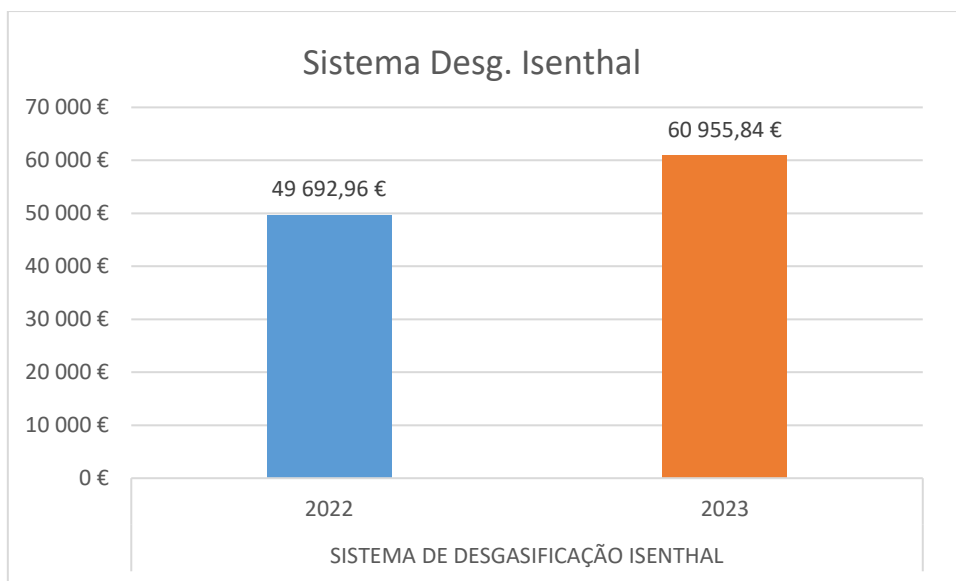


Figura 50 - Custo anual desgasificação Isenthal

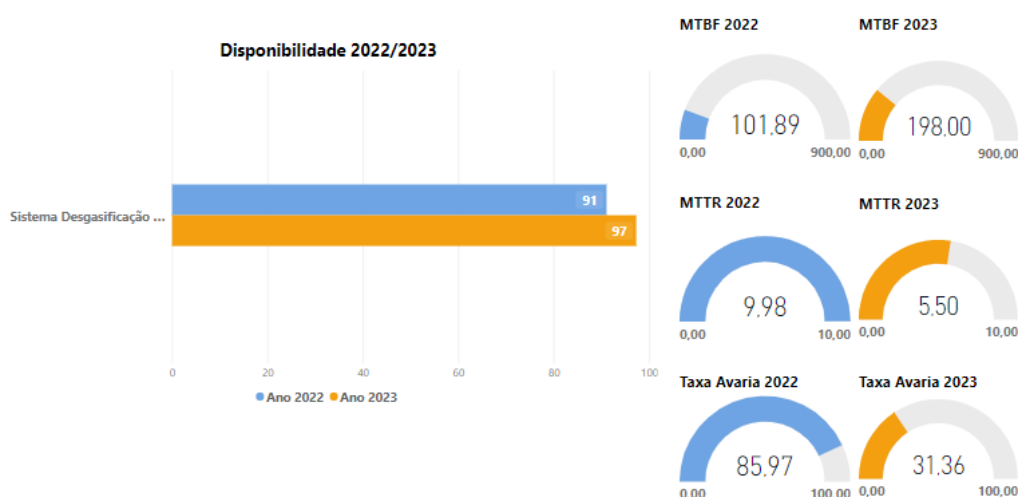


Figura 51 - Dashboard desgasificação Isenthal

7.2.9 PONTES ROLANTES

As pontes rolantes são equipamentos que permitem a movimentação e sustentação de cargas dentro das naves da fábrica. São por isso um ativo de grande importância, sendo considerado um equipamento imprescindível no chão de fábrica. Existem atualmente 30 pontes de 20 toneladas distribuídas pelas naves dos moldes e acabamentos. A fábrica tem contrato de manutenção com empresa externa, que presta serviços de reparação e manutenção sempre que se justificar.

O gráfico da Figura 52 representa o custo global de manutenção das 30 pontes nos anos 2022 e 2023, tendo em conta que só estamos a considerar até ao mês de setembro de 2023.

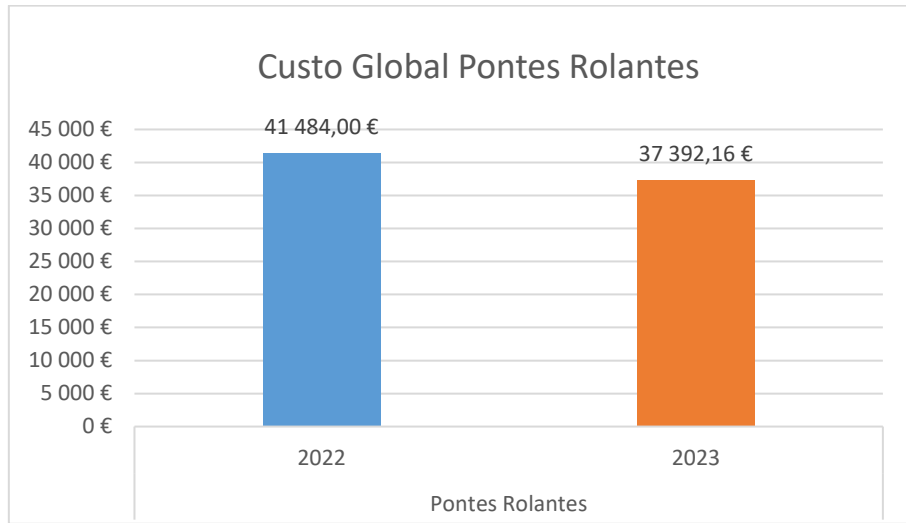


Figura 52 - Custo anual pontes rolantes

As tabelas 15 e 16 representam os custos de manutenção de maior relevância e as avarias entre 2022 e 2023. As avarias mencionadas são inerentes ao uso do equipamento, podendo variar de ponte para ponte com as condições e tempos de funcionamento. A disponibilidade das pontes situa-se entre 97 e 100%, tendo como base os relatórios semanais de manutenção.

Tabela 15 - Custo manutenção pontes rolantes ano 2022

Ref. SAP	Equipamento	Custos manutenção (€)	Ano 2022
300961	Ponte Rolante de 20T M11	1450,2	Reparação ferredo + ventoinha
300962	Ponte Rolante de 20T M12	8269,92	Avaria anel guia partido e cabos; Substituir kit disco freio; Baterias comando danificadas
300966	Ponte Rolante de 20T M9	2193,51	Kit reparação disco freio
300968	Ponte Rolante de 20T M7	2719,33	Reparação da ponte
300971	Ponte Rolante de 20T A8	1503,63	Reparação de anomalias
306145	Ponte Rolante de 20T M6	1312,2	Kit reparação disco freio
306146	Ponte Rolante de 20T M5	1292,95	Reparação ferredo motor
315470	Ponte Rolante de 20T M16	1502	Reparação sistema travão; Substituir bateria comando
315475	Ponte Rolante de 20T M17	4467,65	Filamento laçado
315477	Ponte Rolante de 20T M3	4387,91	Disjuntor disparado; Substituir cabo de aço; Fuga óleo; Manutenção
315479	Ponte Rolante de 20T M20	2033,3	Cabo elétrico do cadernal danificado; Manutenção; Baterias comandos
315474	Ponte Rolante de 20T A12	1493,67	Reparação ponte

Tabela 16 - Custo manutenção pontes rolantes ano 2023

Ref. SAP	Equipamento	Custos manutenção (€)	Ano 2023
300961	Ponte Rolante de 20T M11	1598,22	Reparação da ponte; Anomalias comandos
300962	Ponte Rolante de 20T M12	3055,39	Ponte bloqueia no movimento de translação; Enrolador danificado
300968	Ponte Rolante de 20T M7	2613,35	Reparação da ponte; Manutenção; Relé danificado; Subst. capas comando
300969	Ponte Rolante de 20T A6	2010,07	Anomalia movimento translação; Subst. baterias
300970	Ponte Rolante de 20T A5	3947,22	Reparação ponte; Reparação comando selector
300972	Ponte Rolante de 20T A10	1570,94	Subst. ficha 32A do cadernal; Direção do carro não mexe
315470	Ponte Rolante de 20T M16	1436,48	Reparação da ponte
315472	Ponte Rolante de 20T M15	2058,35	Ponte com falta de energia; Comando danificado
315476	Ponte Rolante de 20T M18	4218,71	Reparação cadernal da ponte; Ponte sem energia
315480	Ponte Rolante de 20T M1	7328,46	Reparação da ponte; Compra baterias comandos; Selector master não funciona; Compra bolsas protectoras

7.3 Equipamentos classe B e C

Dentro dos equipamentos selecionados, os equipamentos classificados como B e C não vão ser alvo de análise no projeto, apesar de serem importantes no processo de fabrico da pá.

Para completar esta análise, falta incluir estes equipamentos no projeto, seguindo a linha adotada para os equipamentos de classe A.

Tabela 17 - Equipamentos classe B e C

Equipamentos	Classificação				Área
	Quantidade	A	B	C	
Máq. de infusão de resina	15			X	Moldes
Máq. de cola	7			X	Moldes
Máq. impregnação	2			X	Acabamentos
Máq. misturadora de tinta	1		X		Acabamentos
Máq. misturadora de massa	2		X		Acabamentos

Analisando a taxa HH de manutenção em 2022 (Anexo A) verificou-se que o tempo investido em manutenção corretiva é superior na maioria dos equipamentos, tendo-se verificado em alguns equipamentos que a taxa de manutenção preventiva foi superior, os quais:

- Main Shell SG170 M2 PS;
- Main Shell SG170 M6 SS;
- Célula de corte Robotizada;
- Máquina Corte Vector Techtex VT-TT-IX-100;
- Máquina de Corte Fibra Lectra FX;
- Galáctica Webs Gurit SG170.

No ano 2023, a taxa de manutenção preventiva foi superior nos seguintes equipamentos:

- Célula de corte Robotizada;
- Galáctica Webs Gurit SG155.

Podemos concluir que a taxa global de manutenção corretiva é superior em ambos os anos, cerca de 71% em 2022 e 78,5% em 2023, considerando somente o 1º semestre deste ano.

Desta análise, consideramos que a gestão da manutenção em conjunto com a gestão da produção devem tomar medidas para fazer baixar a taxa de manutenção corretiva, no sentido de baixar os custos e aumentar a disponibilidade global dos equipamentos. A manutenção preditiva e a manutenção de melhoria são duas vertentes da manutenção que podem ser aplicadas para fazer baixar a manutenção de ordem corretiva e aumentar o MTBF.

8 Proposta de Melhorias

8.1 Grupo dos moldes

Relativamente ao grupo dos moldes, as reparações com maior incidência foram as reparações constantes às superfícies dos moldes, devido a problemas estruturais na superfície, o que implicou um investimento geral ao nível do grupo dos moldes. O sistema de vácuo foi também alvo de alterações, existindo frequentemente incidências devido à entrada de resina nas mangueiras de vácuo, sendo um problema crónico provocado pelo sistema de vácuo existente e também devido a problemas de processo. Foi instalada uma nova rede de vácuo adequada às necessidades atuais, existindo um alerta sempre que existe entrada de resina dentro das mangueiras. Isto permitiu reduzir os custos de substituição de mangueiras de vácuo.

8.2 Sistema despolimento robotizado

Relativamente ao sistema de despolimento robotizado, a principal causa que faz baixar a disponibilidade deste equipamento é o sistema de aspiração que não é eficiente para a dimensão do equipamento, provocando desgaste prematuro em outras peças e componentes da máquina. A poeira que se acumula nos sensores do robot origina várias microparasagens para limpeza e colocação do robot novamente em funcionamento. De forma a reduzir as microparasagens do robot e aumentar a disponibilidade, a fábrica investiu num novo sistema de aspiração que vai ser instalado ainda durante o ano de 2023.

8.3 Robots de ultrassons

Os dois robots de ultrassons tiveram em comum avarias frequentes de anomalias em sensores, sondas e avarias ao nível do AGV, resultando um valor de MTBF baixo.

De modo a incrementar o valor de MTBF, estão a ser estudadas soluções para resolver problemas no AGV, designadamente a substituição das rodas que são um componente crítico do AGV, dado que têm um tempo de vida útil curto. Relativamente a outras avarias, terá que ser analisado caso a caso e como forma de reduzir as paragens, devem ser realizadas inspeções com frequência ao equipamento.

8.4 Galáticas

De acordo com a análise realizada às 4 galáticas, existem anomalias comuns, uma das quais são os braços das galáticas. Este é um ponto de fragilidade do equipamento, em que deve ser estudada uma solução para aumentar a durabilidade dos braços, ou mesmo, construção de novos com um material de maior resistência.

8.5 Pontes rolantes

Foram detetados vários problemas relacionados com falhas de comunicação nos rádio comandos das pontes rolantes. Segundo análise, existiram várias anomalias nos rádio comandos das pontes e substituição de baterias dos mesmos com regularidade. Estão a ser realizados testes com rádio comandos novos afim de solucionar o problema, com o intuito de baixar custos e aumentar a disponibilidade das pontes.

9 Conclusão

De uma forma geral, foram concretizados os objetivos do projeto, que consistiram na identificação dos equipamentos críticos, estudo dos equipamentos de classe A, quanto a tipos de avarias e custos de manutenção anuais e definição dos indicadores de desempenho.

Os indicadores que fazem parte do quadro de bordo são indicadores operacionais: MTBF que traduz o tempo médio entre falhas, o MTTR que é o tempo médio necessário para reparação de uma falha; taxa de avarias, representa a indisponibilidade de um equipamento por unidade de tempo e a disponibilidade do equipamento calculada através do MTBF e do MTTR. Estes indicadores permitem efetuar comparações entre resultados de períodos similares, efetuar análises de desempenho e correlacionar os resultados obtidos com o número de horas de utilização ou avarias do equipamento em determinado período. Mas ainda, obter dados sobre a manutibilidade dos equipamentos (MTTR), avaliar o impacto de alterações realizadas nos equipamentos face ao número e duração de avarias e avaliar a eficiência dos diferentes técnicos de manutenção na reparação de avarias. Deste modo, estes indicadores podem auxiliar na tomada de decisão, tanto da equipa técnica como da equipa de gestão da manutenção, e assim, antecipar as ações de manutenção e prever avarias.

Face ao projeto descrito, é importante referir que após implementar o dashboard de indicadores, é importante manter os mesmos indicadores por um período de tempo considerável, de um a dois anos, de forma a ter resultados concretos e também a identificar lacunas decorrentes do tipo de indicadores implementados ou a falta de informação para interpretação dos resultados operacionais. Quanto a resultados diretos, espera-se uma diminuição da taxa de manutenção corretiva, sendo esta atualmente a de maior peso. O recurso à manutenção preditiva vai permitir a previsão de potenciais falhas e evitar a paragem do equipamento.

Um dos objetivos deste projeto era o estudo e classificação de peças de reserva de acordo com o seu consumo e o valor de stock presente em armazém. Este ponto não foi realizado, sendo interessante num projeto futuro. A identificação e categorização dos artigos, segundo a classificação ABC, que se baseia no custo dos artigos, fazendo uma distinção entre os artigos de maior valor que existem em menor quantidade e os artigos de menor valor, mas que existem em maior quantidade em armazém. A classificação dos artigos em ABC permite fazer uma gestão seletiva do inventário, priorizando os artigos de classe A, sendo estes os de maior valor e seguidamente os de classe B e C, que por existirem em quantidade superior, não têm tanta importância quanto os outros.

Bibliografia

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709 - 756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>.
- Amaral, F.D. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. (ISBN: 9789897521515). Lidel – Edições Técnicas, Lda.
- Assis, R. (2014). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos*. (ISBN: 9789897521126) Lidel – Edições Técnicas, Lda.
- Baran, L. R., Trojan, F., Luiz Kovaleski, J., & Stefano Piechinicki, A. (2013). Métodos e Ferramentas aplicados na Análise de Criticidade em Sistemas Industriais. *Revista Espacios*.
- Barros C. & Massala M. (2020). Reliability Centered Maintenance (RCM) - Implementação e Benefícios, *Revista de Manutenção* nº M146-M147, 4-6.
- Cabral, J. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção, dos conceitos à prática*. (ISBN: 9789727574407) Lidel – Edições Técnicas, Lda.
- Cabral, J. (2021). *Gestão da Manutenção de Instalações e Edifícios* (ISBN: 9789897524769). Lidel – Edições Técnicas, Lda.
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*. 95(1), 71 - 94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.021>.
- Garg, R.K., Gupta, A.K (2012). OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*. Corpus ID: 16855350.
- Jiang, Z., Hu, W., Dong, W., Gao, Z., & Ren, Z. (2017). Structural Reliability Analysis of Wind Turbines: A Review. *Energies*, 10(12), 2099. <https://doi.org/10.3390/en10122099>
- Kaplan, Robert S. e Norton, David P. (1992). The balanced scorecard – measures that drive performance, in *Harvard Business Review*. Harvard Business School.
- Kaplan, Robert S. e Norton, David P., (1997). *A estratégia em ação: Balanced Scorecard*. (ISBN: 8535201491, 9788535201499) Gulf Professional Publishing, Rio de Janeiro: Campus, p.25.
- Lafraia, J. (2001). *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. (ISBN: 857303792X).
- Márquez A.C. , (2007). *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. (ISBN: 9781846288210) Springer London.
- Moubray, John, (1992). *RCM II Reliability Centered Maintenance*, (ISBN: 083113044X).

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

Nakajima, S. (1998). Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (ISBN: 0915299232, 9780915299232), Productivity Press.

Pereira e Sena (2016). Manutenção de Instalações Técnicas. (ISBN: 9789897231407) Publindústria.

Pinto G., Silva F.J.G, Baptista A., Fernandes Nuno O., Casais R., Carvalho C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. Procedia Manufacturing, 51, 1423-1430. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>

P. Muchiri, L. Pintelon, L. Gelders, and H. Martin, (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators, International Journal of Production Economics, 131(1), 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>

Rajput H.S., Jayaswal P. (2012). A Total Productive Maintenance (TPM) Approach To Improve Overall Equipment Efficiency, 4383-4384. Corpus ID: 14229328

T. Santos, (2018). Reestruturação da Função Manutenção em empresa do Ramo Alimentar”, Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. <http://hdl.handle.net/10400.22/14234>

Wuttke R.A.; Sellitto M.A . (2008). Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. Revista Produção Online, Universidade Federal de Santa Catarina 8(4), DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v8i4.134>

Website empresa: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services>

Apresentação organização Siemens Gamesa: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/-/media/siemensgamesa/downloads/en/about-us/siemens-gamesa-renewable-energy-company-presentation-en.pdf>

Anexos

Anexo A – Tabela HH manutenção

Equipamentos	Taxa HH Corretiva 2022	Taxa HH Preventiva 2022	Taxa HH Corretiva 2023	Taxa HH Preventiva 2023
Main Shell SG145 M6 SS	97,47	2,53	85,6	14,4
Main Shell SG145 M9 SS	68,69	31,31	75,3	24,7
Main Shell SG155 M1 SS	92,01	7,99	63,0	37,0
Main Shell SG155 M1 PS	74,93	25,07	89,8	10,2
Main Shell SG155 M2 SS	89,69	10,31	94,4	5,6
Main Shell SG155 M2 PS	84,92	15,08	88,8	11,2
Main Shell SG170 M1 SS	52,74	47,26	97,1	2,9
Main Shell SG170 M1 PS	95,55	4,45	78,2	21,8
Main Shell SG170 M2 SS	83,70	16,30	73,1	26,9
Main Shell SG170 M2 PS	47,16	52,84	92,4	7,6
Main Shell SG170 M6 SS	30,26	69,74	87,3	12,7
Main Shell SG170 M6 PS	71,22	28,78	94,7	5,3
Célula de corte Robotizada	39,16	60,84	36,0	64,0
Sistema Despolimento Robotizado Roboplan	92,99	7,01	94,0	6,0
Drilling Machine	85,53	14,47	90,4	9,6
Maq Corte Vector Techtex VT-TT-IX-100	48,29	51,71	65,6	34,4
Máquina de Corte Fibra Lectra FX	36,97	63,03	78,2	21,8
Sistema Desgasificação Isenthal	94,71	5,29	80,3	19,7
Galáctica Webs Gurit SG155	81,10	18,90	46,9	53,1
Galáctica Webs Gurit SG170	40,43	59,57	73,8	26,2
Galáctica Webs Hawart SG170	60,02	39,98	82,4	17,6
Galáctica Webs SG 145	91,11	8,89	73,3	26,7

Implementação de Dashboard de KPI's de manutenção na fábrica da Siemens Gamesa

PCP Machine ABI	61,60	38,40	71,5	28,5
PCP Machine Eltronic	57,49	42,51	54,0	46,0
ROBOT Ensaios NDT UT #1	83,57	16,43	85,5	14,5
ROBOT Ensaios NDT UT #2	82,56	17,44	89,1	10,9

Anexo B – Tabela Custos manutenção

Natureza dos Custos		
Rubrica	Descrição	Observações
1.	Custos com mão de obra	Os custos de M.O são calculados através do valor de HH padrão. A M.O de produção compreende a manutenção de 1º nível realizada pela produção.
1.1	M.O Interna	
1.2	M.O Externa	
1.3	M.O Produção	
2.	Peças e consumíveis	Contempla todos os materiais aplicados nas intervenções de manutenção (provenientes de armazém e compra direta).
2.1	Material de consumo	
2.2	Peças sobressalentes	
2.3	Lubrificantes	
2.4	Material de consumo - aplic. direta	
2.5	Peças sobressalentes - aplic. direta	
2.6	Lubrificantes - aplic. Direta	
3.	Serviços aplicados em trabalhos	Serviços utilizados dirigidos ao objeto de manutenção. Os contratos de manutenção incidem sobre o centro de custo.
3.1	Serviços Subcontratados	
3.2	Contratos de Manutenção	
4.	Departamento de manutenção	Encargos são devidos a horas extraordinárias do pessoal, impostos, responsabilidades sociais, seguros e acidentes de trabalho. O valor das remunerações são utilizados para definir os valores dos custos de M.O (rubrica 1).
4.1	Salários + encargos pessoal interno	
4.2	Salários + encargos pessoal externo	
4.3	Ferramentas	
4.4	Energia e Fluídos	
4.5	Funcionamento Geral	

5.	Aquisição de materiais para armazém	Contempla todos os materiais adquiridos para armazém.
5.1	Entradas armazém material consumo	
5.2	Entradas armazém sobressalentes	
5.3	Entradas armazém lubrificantes	
6.	Combustível, Energia e Fluidos	Estes custos estão fora do contexto da manutenção.
6.1	Eletricidade	
6.2	Gás	
6.3	Ar comprimido	
6.4	Água	
6.5	Combustíveis	
7.	Custos padrão de referência	Estes custos estão fora do âmbito do que é considerado custo de manutenção.
7.1	Custos de indisponibilidade devido a manutenção programada	
8.	Despesas Administrativas	Estes custos estão fora do âmbito da manutenção.
8.1	Formação e Treino	
8.2	Documentação Técnica	
8.3	Deslocações e estadia	
8.4	Estrutura Empresarial	
8.5	Sistemas e serviços informáticos	