Marco António Loureiro Almeida

Análise das atividades de manutenção da SRAMPORT e propostas de melhoria

Tese de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, orientada pelo
Professor Doutor Cristóvão Silva e apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Coimbra

julho/2018

· U C ·

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise das atividades de manutenção da SRAMPORT e propostas de melhoria

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Analysis of SRAMPORT's maintenance activities and improvement recommendations

Autor

Marco António Loureiro Almeida

Orientadores

Professor Doutor Cristóvão Silva

Engenheiro Paulo Jorge de Oliveira Carvalho

Júri

Presidente	**Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Vogais	**Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra** **Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Orientador	**Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**

SRAMPORT, Transmissões Mecânicas, Lda.

Coimbra, julho, 2018

Agradecimentos

Durante cinco meses foi-me dada a possibilidade de integrar uma empresa, compreender o seu funcionamento diário e adquirir experiência no mercado de trabalho. O estágio foi, sem qualquer dúvida, muito enriquecedor pelo que gostaria de agradecer a algumas pessoas e à entidade que o tornaram possível, assim como a realização da presente dissertação.

Ao grupo SRAM, particularmente à SRAMPORT e todos seus colaboradores pela integração desde o início e pela disponibilização de todos os recursos necessários para a realização desta dissertação.

À Diretora Geral Isabel Gomes pela oportunidade de realização do estágio e pela simpatia demonstrada ao longo de todo o período.

Ao Engenheiro Paulo Carvalho pela orientação, apoio, preocupação e disponibilização de todos os recursos necessários à realização do trabalho desempenhado.

A todos os colaboradores, nomeadamente dos escritórios, por todo o auxílio prestado e por nunca negarem o seu contributo quando solicitado.

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva pela orientação e disponibilidade demonstrada ao longo dos cinco meses.

À minha família, particularmente aos meus pais, à minha irmã e à minha avó, por tudo aquilo que fizeram durante toda a minha vida e por me tornarem em quem sou hoje.

À minha namorada Rita por me apoiar durante todo o meu percurso académico e por me motivar quando o ânimo escasseava.

Por fim, agradeço a Coimbra e aos amigos que lá fiz, que com certeza me moldaram e ajudaram a definir a pessoa que sou.

Resumo

A presente dissertação pretende ilustrar o trabalho desenvolvido durante um estágio curricular numa empresa de produção e desenvolvimento de componentes de bicicletas. Apesar de uma política de manutenção bastante desenvolvida, em prol de uma melhoria contínua em todos os processos, a empresa identificou oportunidades para refinar a sua gestão da manutenção. Foi nesse ponto que incidiu o estágio, onde foi abordada a *Total Productive Maintenance*, sob a qual se desencadeou uma ação focada na melhoria da manutenção autónoma e se analisou a *Overall Equipment Effectiveness* dos principais equipamentos, ao longo de vários meses. Outro tema desenvolvido foi o apuramento e acompanhamento de indicadores de desempenho da manutenção para fins de avaliação de desempenho por parte da gestão. Foi também levada a cabo uma abordagem teórica à manutenção no âmbito da Indústria 4.0, onde foi discutida a hipótese de implementação de manutenção preditiva num determinado equipamento. A concluir os temas abordados, apresentam-se outros trabalhos que foram sido desempenhados ao longo do estágio, tais como a gestão de ordens de manutenção preventiva autónoma e sistemática, a gestão de *dossiers* de equipamento físicos e virtuais e a elaboração de planos de manutenção preventiva. Para criar e/ou manter vantagem competitiva sobre os rivais, as empresas necessitam acompanhar as novas tendências e adotá-las se se revelar benéfico. A manutenção é um dos departamentos onde essa vantagem pode ser obtida e, talvez, um dos mais importantes, uma vez que tantas empresas o negligenciam.

Palavras-chave: Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Manutenção Preditiva, Indústria 4.0.

Abstract

The present dissertation aims to illustrate the work developed during a curricular internship in a company of production and development of bicycle components. In spite having a highly developed maintenance policy, for continuous improvement in all processes, the company has identified opportunities to refine its maintenance management. This is where the internship was focused, where Total Productive Maintenance was approached, under which an improvement action focused on autonomous maintenance took place and the Overall Equipment Effectiveness of the most important equipment was analysed over the course of several months. Another of the discussed themes was the gathering and monitoring of maintenance performance indicators so the management could evaluate them and make the necessary decisions. A theoretical approach to maintenance under the scope of Industry 4.0 was also carried out, where it was discussed the implementation of predictive maintenance in a particular equipment. To conclude the topics covered, other work performed throughout the internship is presented, such as the management of autonomous and systematic preventive maintenance orders, the management of equipment physical and virtual documentation and the elaboration of preventive maintenance plans. To create and/or maintain competitive advantages over competitors, companies need to keep up with new trends and adopt them if found beneficial. Maintenance is one of the departments where these advantages can be obtained and, perhaps, one of the most important, since so many companies overlook it.

Keywords Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Predictive Maintenance, Industry 4.0.

Índice

Índice de Figuras xi

Siglas xiii

1. Introdução 1
   1.1. Caracterização da SRAM 3
      1.1.1. Caracterização da SRAMPORT 3

2. Total Productive Maintenance 7
   2.1. Ação TPM na SRAMPORT 9
   2.2. Overall Equipment Effectiveness 13
      2.2.1. Análise de OEE's na SRAMPORT 15

3. Indicadores de desempenho da manutenção 21
   3.1. Indicadores de desempenho da manutenção na SRAMPORT 23

4. Manutenção na Indústria 4.0 27
   4.1. Indústria 4.0 na SRAMPORT 31

5. Outras atividades desenvolvidas durante o estágio 33
   5.1. Gestão de *dossiers* de equipamento 33
   5.2. Gestão de ordens de manutenção preventiva autónoma e sistemática 35
   5.3. Elaboração de planos de manutenção preventiva 36

6. Conclusões 39

Referências Bibliográficas 41

Índice de Figuras

Figura 1 - Marcas e projetos do grupo SRAM 3
Figura 2 - Esquema representativo dos componentes de uma corrente 4
Figura 3 - 8 pilares da TPM (Ahuja & Khamba, 2008) 8
Figura 4 - Exemplo de uma etiqueta vermelha na máquina CHC 11
Figura 5 - Antes e depois da restituição das condições de base numa das lubrificadoras 11
Figura 6 - Fácil acesso à visualização do manómetro 12
Figura 7 - Fácil acesso a pontos de lubrificação 12
Figura 8 - Parâmetros da OEE considerando as 6 grandes perdas (Ahuja & Khamba, 2008) 15
Figura 9 - Pareto de análise quinzenal da prensa PM3 17
Figura 10 - Evolução da OEE e seus parâmetros da prensa PM3 18
Figura 11 - Evolução da causa "ausência de operador" na prensa PM2 20
Figura 12 - Evolução dos tempos de manutenção corretiva e preventiva 24
Figura 13 - Exemplo de *dossier* de equipamento virtual 34
Figura 14 - Exemplo de *dossier* de equipamento físico 34
Figura 15 - Exemplo de uma ordem de manutenção autónoma 36
Figura 16 - Excerto do plano de manutenção preventiva sistemática da prensa KAISER 38

Siglas

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

ERP – Enterprise Resource Planning

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

IIoT – Industrial Internet of Things

IoT – Internet of Things

JIPM – Japan Institute of Plant Maintenance

MPd – Manutenção Preditiva

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PHM – Prognostics and Health Management

TPM – Total Productive Maintenance

1. INTRODUÇÃO

Em qualquer organização que possua ativos físicos, o setor de manutenção é imprescindível. A organização é dependente dos seus equipamentos para ser rentável e se consolidar no mercado onde se insere, e é por essa razão que o seu bom funcionamento é imperial e tem de ser assegurado. A manutenção não deve ser vista como apenas mais um centro de custo, mas sim como uma função relevante, muitas vezes esquecida, que quanto menos se nota mais eficaz é. É por isso que a manutenção pode ser vítima da sua própria eficácia uma vez que, se por ventura, os equipamentos não derem problemas, a gestão de topo pode assumir esse facto como algo garantido, independentemente de todo o processo desempenhado "por detrás", e desenvolver a perceção de que se trata de uma atividade secundária. Perceção essa que não poderia estar mais errada.

A manutenção é uma área que tem evoluído muito até se tornar naquilo que hoje se encontra na indústria. Em tempos, o único tipo de manutenção utilizado era o corretivo. Consistindo em atuar após a falha ter ocorrido, este tipo de manutenção, quando utilizado solitariamente, pode acarretar graves consequências, como por exemplo colocar em risco a integridade física dos colaboradores ou a perda de produção. Além disso, a carga de trabalho dos técnicos torna-se irregular, a preparação do trabalho apenas pode ser feita depois de analisar a falha e o *stock* de peças de substituição é gerido com mais dificuldade. Por estas e outras razões se desenvolveu a manutenção preventiva que, tal como o nome indica, consiste em adotar uma estratégia que previna a falha, intervindo no equipamento em questão antes que esta ocorra. Como as intervenções são planeadas, torna-se possível coordená-las com a produção para que esta não seja afetada e preparar o trabalho que precisa de ser executado. Auxiliada pela criação e evolução de novas tecnologias, a manutenção continua a progredir, sendo que um dos desafios para o futuro próximo é que se torne possível prever a falha antes que ela ocorra. Tema que é discutido no presente documento.

O estágio descrito através da presente dissertação teve lugar na empresa SRAMPORT cuja caracterização é apresentada mais abaixo. Apesar do seu setor de manutenção apreentar um bom desempenho, a SRAMPORT, tendo constantemente o desejo de progredir, identificou oportunidades para melhorar a sua gestão, introduzindo-lhe uma

vertente “mais académica” para complementar o que já era realizado. Como tal, foram propostas várias atividades nesse sentido, que foram sendo desempenhadas ao longo do tempo passado na empresa. Um dos temas abordados foi a *Total Productive Maintenance* (TPM) onde, para além de ter sido desenvolvida uma ação que teve como principal objetivo a melhoria da manutenção autónoma, foi ainda analisada a *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) de alguns dos equipamentos mais importantes. Outros dos objetivos passou por desenvolver e analisar indicadores de desempenho das atividades da manutenção. A hipótese de se implementar algum tipo de Manutenção Preditiva (MPd) foi também analisada para uma das prensas de corte e estampagem de aço. A gestão de ordens de manutenção autónoma e sistemática foi outra das atividades desempenhadas, assim como a gestão dos *dossiers* de equipamento físicos e digitais e a implementação de planos de manutenção sistemática mecânica para alguns equipamentos.

Assim sendo, este documento é iniciado pela introdução no capítulo um, onde se descrevem os objetivos do estágio e se caracteriza a empresa, os seus produtos e os seus processos produtivos.

No segundo capítulo é abordada a metodologia TPM, onde é descrita a ação que tomou lugar na fábrica de Coimbra e onde se descreve a análise conduzida à OEE durante o estágio e as ações que dela decorreram.

No capítulo três descrevem-se os indicadores de desempenho da manutenção desenvolvidos e acompanhados durante o estágio. Além disso, fazem-se recomendações para outros possíveis indicadores, resultantes de informação já recolhida, e que são recomendados à empresa.

O quarto capítulo abrange a temática da Indústria 4.0, nomeadamente a MPd, onde foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, concluindo-se com possíveis recomendações para a sua implementação numa das prensas da empresa.

Por sua vez, o capítulo cinco é reservado para descrever outras atividades que foram sido desenvolvidas ao longo do estágio e que não se enquadravam em nenhum dos capítulos anteriores. Neste ponto, aborda-se a gestão de *dossiers* de equipamento físicos e digitais, a gestão de ordens de manutenção preventiva autónoma e sistemática e a elaboração de planos de manutenção preventiva sistemática.

O capítulo seis contém as conclusões do trabalho desenvolvido e se identificam oportunidades para continuação do trabalho atual e para desenvolvimento de trabalhos complementares.

1.1. Caracterização da SRAM

A SRAM é uma empresa fundada em 1987 em Chicago, nos Estados Unidos da América, dedicada à produção de vários componentes de bicicletas. Para isso têm contribuído as sucessivas aquisições de várias marcas que atualmente a constituem e que contribuem para o seu crescimento e consolidação no mercado. Atualmente, a empresa possui seis marcas e dois projetos de carácter social e humanitário, como demonstrado na Figura 1.

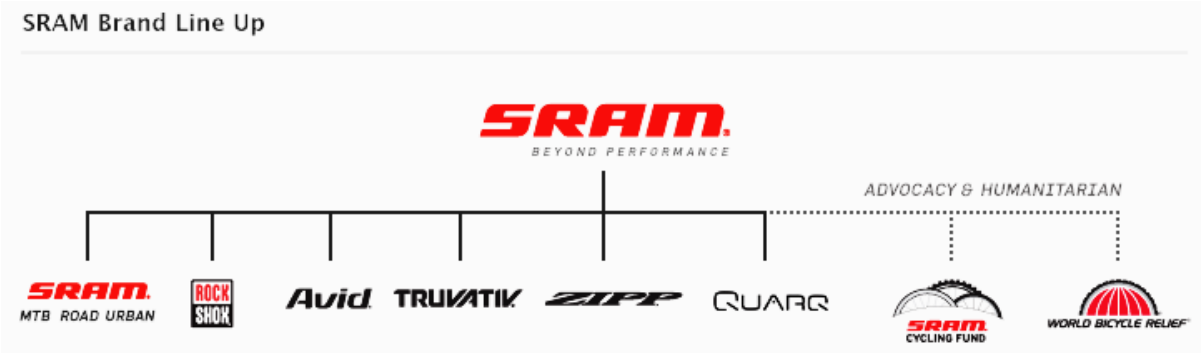


Figura 1 - Marcas e projetos do grupo SRAM

Das fábricas destas marcas saem componentes como manípulos de mudanças, desviadores, travões, cassetes, correntes, pedaleiras, pedais, suspensões, espigões de selim, guias de corrente, guiadores, rodas, cubos e medidores de potência.

A empresa é o segundo maior fabricante de compnentes de bicicleta a nível mundial, estando presente em 9 países, com 18 fábricas e escritórios, criando postos de trabalho para cerca de 3.300 colaboradores.

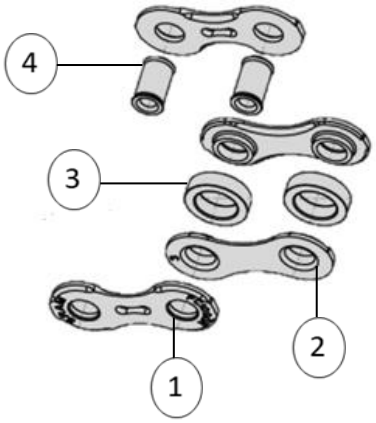
1.1.1. Caracterização da SRAMPORT

O estágio que deu origem à presente dissertação teve lugar numa das fábricas da empresa norte-americana, localizada em Coimbra. A fábrica, que já conta com 50 anos, foi adquirida pelo grupo SRAM em 1997 e é, de momento, a única unidade fabril do grupo na Europa. A unidade industrial portuguesa dedica-se à produção e desenvolvimento de

correntes, rodas e cubos. Para o sucesso da fábrica contribuem cerca de 155 colaboradores, incluindo o pessoal do escritório. Neste momento, a capacidade produtiva é de 7 milhões de metros por ano dos vários tipos de corrente e de 46.000 conjuntos "roda-cubo" por ano. A maior parte dos produtos produzidos em Coimbra é destinada à exportação, sendo que a maior porção, de cerca 75%, é enviada para o resto da Europa, Médio Oriente e África, cerca de 20% para o continente americano e cerca de 5% para a Ásia.

1.1.1.1. Produtos produzidos

Como referido em 1.1.1, a fábrica de Coimbra produz vários tipos de corrente, rodas e cubos. A corrente de uma bicicleta é constituída por placas exteriores, placas interiores, rolos e eixos, cujo esquema representativo se encontra na Figura 2. Destes quatro componentes, três são fabricados na SRAMPORT, sendo eles os dois tipos de placas e os eixos. Os rolos são adquiridos a um fornecedor externo e é já na fábrica que recebem os tratamentos térmico e de superfície.



1. Placa exterior
2. Placa interior
3. Rolo
4. Eixo

Figura 2 - Esquema representativo dos componentes de uma corrente

No caso das rodas, os seus componentes são, na sua maioria, importados, sendo na fábrica de Coimbra que estas são montadas e testadas. O mesmo acontece com os cubos que, no fim de montados, são posteriormente acoplados às rodas.

1.1.1.2. Processos de fabrico

A unidade fabril de Coimbra é dividida em três unidades de produção autónomas: a de peças soltas, a de montagem de corrente e a de montagem de rodas e cubos. As suas funções são explicadas abaixo.

1.1.1.2.1. Peças soltas

Nesta unidade estão englobadas todas as operações que envolvem os quatro componentes da corrente, enquanto separados. É aqui que fitas de aço dão origem a placas, quando introduzidas em prensas de corte por estampagem, com recurso a ferramentas progressivas, e os arames de aço trefilado dão origem a eixos quando desbobinados e, posteriormente, cortados em cisalhas rotativas.

É ainda nesta unidade autónoma que, dependendo do tipo de corrente, os quatro componentes são alvo de determinados tratamentos térmicos e de superfície. O tratamento de superfície, consistindo num processo de polimento e rebarbagem com água e abrasivos, é denominado de "bariagem" pela empresa. Neste tratamento são removidas as rebarbas existentes, os óxidos que, eventualmente, se tenham formado na superfície dos componentes e, ainda, o óleo proveniente dos processos de corte. O objetivo final é eliminar qualquer agente que não pertença ao aço propriamente dito.

Após o tratamento de superfície, toma lugar o tratamento térmico, no qual são realizados os processos de cementação, têmpera e revenido em fornos. Este tratamento concede às peças um aumento de dureza para que estas resistam melhor ao desgaste ao qual vão ser submetidas durante a utilização da corrente.

Depois do tratamento térmico, as peças são sujeitas a uma nova "bariagem" para remover toda a sujidade e o tom acastanhado concedido pelos óxidos provenientes do tratamento térmico anterior.

De seguida, dependendo do tipo de corrente, os seus componentes podem ser levados para uma linha de niquelagem onde, como o seu próprio nome indica, lhes é depositado níquel para lhes conferir um pouco mais de dureza e resistência à corrosão mas, sobretudo, para lhes conferir um brilho que os torna esteticamente mais apelativos.

1.1.1.2.2. Montagem de corrente

Após todas as operações da unidade autónoma de peças soltas terem sido concluídas, os componentes, ainda separados, são armazenados em contentores onde aguardam numa estante de *stock* intermédio até que sejam necessários.

Já na unidade autónoma de montagem, existem seis linhas de montagem de corrente, designadas de "CHC". Os quatro componentes são-lhes alimentados, em tubos, por sopros periódicos de ar. Posteriormente, cada componente desce, por gravidade, pela sua respetiva calha até chegar a um dos cinco módulos onde são necessários. No primeiro

módulo, dois eixos são cravados na placa exterior inferior, criando assim o elo. No segundo, os elos são unidos entre si pela inserção da placa interior inferior. A seguir, no terceiro módulo, são colocados os rolos em cada eixo. No quarto módulo é inserida outra placa interior, desta vez a superior. Por último, no quinto módulo, é inserido o componente final, a placa exterior superior. Todo este processo pode montar cerca de 700 metros de corrente por hora, em condições ótimas e na linha mais rápida.

À saída da "CHC" a corrente já se encontra montada, faltando apenas a deformação da extremidade do eixo de forma a fixar toda a sua estrutura. Este processo, designado de rebitagem em contínuo, é a última etapa na construção, propriamente dita, da corrente.

O próximo passo consiste no tensionamento e controlo de corrente, onde esta é sujeita a um terço da sua carga de rotura, de forma a garantir que possui a resistência desejada.

Após o tensionamento, as correntes de alta gama passam por um sistema de análise por visão artificial, onde câmaras de alta velocidade controlam a corrente de forma a detetar quaisquer não conformidades que, porventura, ainda possam existir.

De seguida, a corrente segue para a lubrificadora onde, como o próprio nome indica, é lubrificada por imersão para seguir já funcional para o cliente. O excedente de lubrificante é depois removido por ar comprimido com recurso a sopradores. A partir deste momento, a corrente está pronta a ser expedida, podendo ser cortada à medida e embalada ou bobinada, dependendo do tipo de encomenda feita pelo cliente.

1.1.1.2.3. Montagem de rodas e cubos

Esta unidade autónoma é completamente independente das restantes, uma vez que não utiliza quaisquer componentes provenientes delas. É aqui que os variados componentes dos cubos são emparelhados em linhas de montagem. No que diz respeito às rodas, numa primeira fase os raios são colocados e fazem a ligação entre o aro e o cubo. Depois disso, as rodas são sujeitas ao aperto dos seus aros até que fiquem com a tensão predeterminada. Após esse ponto, as rodas estão no seu estado final, passando apenas por testes de resistência e calibração antes de lhe serem colados autocolantes e, posteriormente, serem embaladas.

2. TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE

Tal como o nome indica, esta abordagem holística desenvolvida no Japão nos anos 70 visa o envolvimento total dos integrantes de uma organização no sentido de otimizar a sua produtividade. Houve tempos em que a manutenção era vista como um mal necessário. Algo com o qual se tinha de lidar mas que não trazia qualquer retorno tangível à empresa. Atualmente, isso já não se verifica. Cada vez mais as empresas se apercebem que gerir a manutenção, de forma eficaz, se traduz numa vantagem competitiva face à concorrência.

A emergência da TPM veio promover a necessidade de coordenar as atividades produtivas com as atividades de manutenção e o envolvimento dos operadores nas atividades rotineiras de manutenção, idealizando a eliminação de paragens não planeadas, de defeitos e de acidentes (Ahuja & Khamba, 2008).

Segundo Nakajima, 1989 e como referido por Ahuja & Khamba, 2008, a TPM tem sido vista como uma estratégia de produção que integra as seguintes premissas:

- Maximização da eficácia do equipamento através da otimização da disponibilidade, desempenho e eficiência do equipamento, assim como da qualidade do produto;
- Estabelecimento de uma estratégia de manutenção preventiva para todo o ciclo de vida do equipamento;
- Integração de todos os departamentos, tais como o planeamento, operadores e manutenção;
- Envolvimento de todos os níveis da organização desde a gestão de topo até aos operadores; e
- Promover melhorias de manutenção através de atividades autónomas.

Com o objetivo de melhorar continuamente a disponibilidade e prevenir a degradação do equipamento para atingir a máxima eficácia, a TPM assenta em oito pilares sugeridos pelo *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), que podem ser vistos na Figura 3 e explicados a seguir.

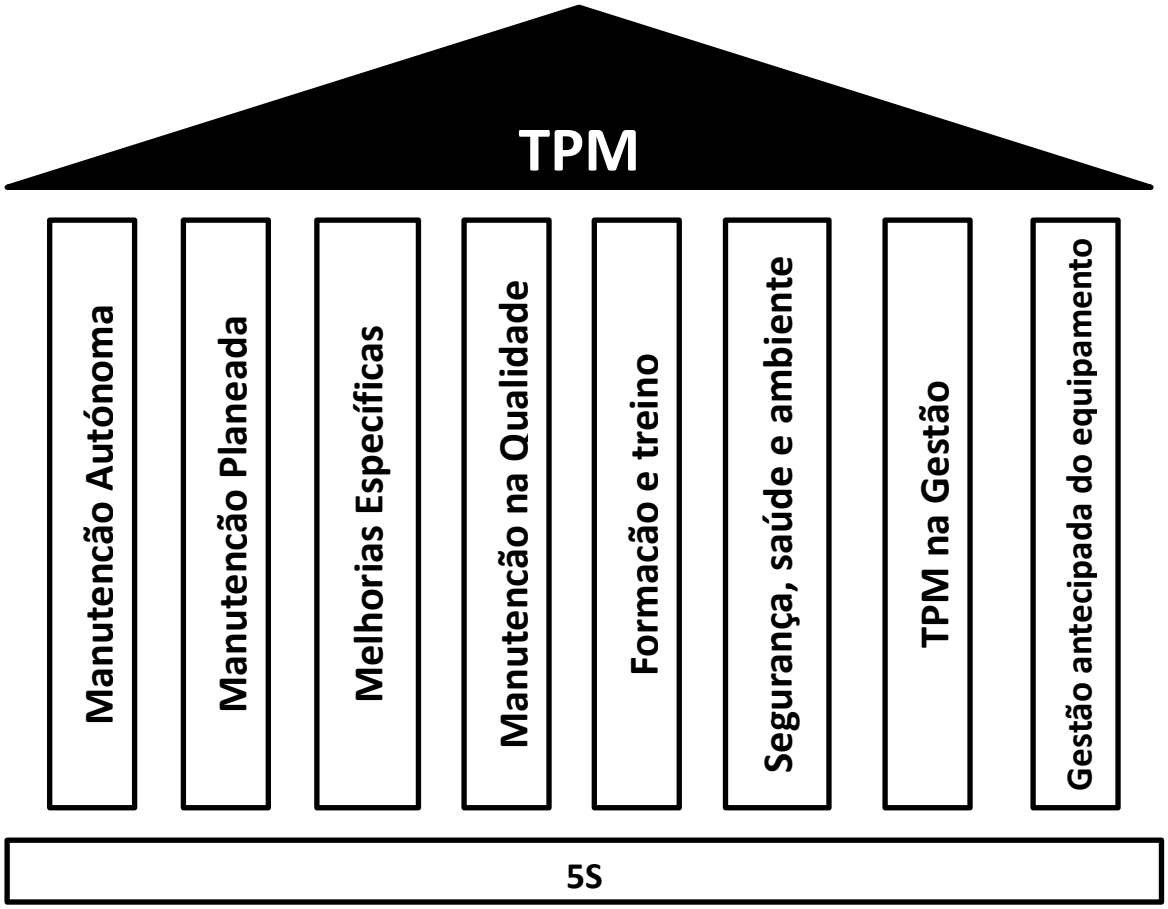


Figura 3 - 8 pilares da TPM (Ahuja & Khamba, 2008)

1. Manutenção autónoma: consiste em simples atividades de manutenção, como inspeção, limpeza e lubrificação, executadas pelos utilizadores de cada equipamento. Incute no operador o sentido de posse do equipamento que opera. Este tipo de manutenção já existe na SRAMPORT e é executado semanalmente em todos os equipamentos;
2. Manutenção planeada: trata-se de atividades de manutenção preventiva. Este tipo de manutenção reduz a ocorrência de paragens não planeadas devido avarias de equipamentos. Permite que se coordene as intervenções de manutenção com a produção. Este tipo de manutenção também já existe na SRAMPORT, sendo ele de carácter sistemático na maioria dos casos, mas também condicionado quando o tipo de equipamento o torna exequível;
3. Melhorias específicas: pequenos grupos de colaboradores focam-se em pequenas melhorias de forma sistemática, ao nível da utilização de equipamentos;

4. Manutenção na qualidade: passa pela integração da deteção e da prevenção de defeitos nos processos produtivos. Um dos objetivos é eliminar fontes de defeitos para atingir zero defeitos;
5. Formação e treino: consiste em colmatar as lacunas no conhecimento dos intervenientes, de forma sistemática, para que os objetivos da TPM sejam atingidos. Os operadores são formados para que possam desempenhar manutenção autónoma rotineiramente e identificar problemas emergentes, enquanto a gestão desenvolve capacidades para implementar metodologias de manutenção preventiva e proactiva;
6. Segurança, saúde e ambiente: passa por manter o ambiente de trabalho seguro e ergonómico. Tem como principal objetivo a eliminação de potenciais riscos à segurança e saúde dos colaboradores, e a consequente obtenção de zero acidentes;
7. TPM na gestão: trata-se da aplicação dos conceitos da TPM nas funções administrativas de uma organização, onde os seus benefícios são levados além da fábrica; e
8. Gestão antecipada do equipamento: consiste na utilização do conhecimento e experiência sobre equipamentos existentes, adquiridos através da aplicação da TPM, para melhorar a gestão de novos equipamentos. O novo equipamento atinge os níveis planeados de produtividade de forma mais rápida devido a menos problemas no arranque. Por sua vez, a manutenção torna-se mais simples e robusta, uma vez que os operadores estão diretamente envolvidos desde o *design* ou aquisição do equipamento.

2.1. Ação TPM na SRAMPORT

No decorrer do estágio, foi planeada uma ação onde foi desenvolvida uma temática explorada na TPM, a manutenção autónoma. Este tipo de ação, que visou a melhoria das intervenções autónomas existentes, já tinha sido aplicado a duas das linhas de montagem de corrente em contínuo e o objetivo foi a sua extensão às restantes. Esta ação foi desenvolvida nas cinco etapas apresentadas abaixo que vão ser descritas mais à frente.

1. Restauração das condições de base;
2. Eliminação de fontes de sujidade e pontos de difícil acesso;

3. Normas de limpeza e lubrificação;
4. Treino para manutenção autónoma; e
5. Manutenção autónoma.

É importante referir que, no final de cada etapa, são conduzidas auditorias de modo a garantir que todos os assuntos abrangidos foram, de facto, bem assimilados e são postos em prática de forma correta e sistemática. A ação juntou colaboradores alocados ao setor de engenharia da produção com os operadores dos equipamentos em questão para que se sentisse uma total envolvência de todos os intervenientes, realçando o compromisso da gestão com o projeto. Descrevem-se, agora, cada uma das etapas levadas a cabo no desenvolvimento da ação:

1. Definindo manutenção autónoma como a manutenção das condições de base do equipamento feita pelos operadores, é racional que a primeira etapa passe pela restituição dessas mesmas condições. Neste passo inicial, os esforços devem estar focados em remover a sujidade existente e identificar e corrigir anomalias. Não se trata apenas de limpar, mas sim de identificar e eliminar todos os tipos de contaminação que possam originar defeitos (Actio Consulting Group, 2017). Nesta fase, aproveita-se a oportunidade para lubrificar engrenagens e pontos móveis dos equipamentos. As anomalias identificadas que, por alguma razão, não possam ser imediatamente eliminadas devem ser assinaladas com uma etiqueta vermelha. Cada etiqueta deve ser registada numa lista para posterior análise e resolução. Na Figura 4 ilustra-se um exemplo de uma etiqueta a vermelho e na Figura 5 está representada a restituição das condições de base da lubrificadora de uma das linhas de montagem de corrente;

Figura 4 - Exemplo de uma etiqueta vermelha na máquina CHC

Figura 5 - Antes e depois da restituição das condições de base numa das lubrificadoras

2. Não basta limpar o equipamento, uma vez que vai voltar a ficar sujo em pouco tempo. Foi por essa razão que foi posta em prática a segunda etapa da ação TPM. Para que a sujidade não seja recorrente, é necessária a eliminação das suas fontes, tais como fugas de óleo, água, ar, fumo, resíduos, matéria-prima e acumulação de pó. Caso a sua fonte não possa ser eliminada, a sujidade deve ser contida, isto é, deve ser determinada

uma forma de reduzir o impacto que a esta tem no bom funcionamento do equipamento. Em último caso, se a sujidade não puder ser contida, a periodicidade com que o equipamento é limpo deve ser reduzida para garantir que, apesar da elevada produção de sujidade, o equipamento é operado em condições normais de funcionamento. Esta etapa engloba também a melhoria no acesso a pontos de limpeza, inspeção e lubrificação para que essas atividades sejam desempenhadas de uma forma mais fácil sem que o operador perca motivação. Um exemplo de uma ação de melhoria nesta fase foi a abertura da estrutura das máquinas de montagem em locais estratégicos para facilitar a visualização de manómetros e nível de óleo, assim como o acesso aos pontos de lubrificação, como se pode ver na Figura 6 e na Figura 7;

Figura 6 - Fácil acesso à visualização do manómetro

Figura 7 - Fácil acesso a pontos de lubrificação

3. Na terceira etapa o objetivo foi desenvolver planos e normas de limpeza, inspeção e lubrificação no sentido de prevenir a degradação. De acordo com o tipo de equipamento e a informação contida nos seus manuais, foram criados planos de manutenção autónoma. Esses planos são individuais para cada equipamento e descrevem as ações que os operadores têm de desempenhar semanalmente. Os planos estão presentes nas ordens de manutenção autónoma cujo processamento é discutido mais à frente;

4. Na etapa quatro são desenvolvidas as competências dos operadores quanto à inspeção e intervenção no equipamento. Depois de analisada a estrutura e o funcionamento do equipamento, determinaram-se as competências necessárias para que os operadores pudessem efetuar as atividades requeridas sem dificuldades. Posteriormente foi elaborado um plano de formação e treino para os operadores, tendo em conta o equipamento a que estão alocados. Os operadores são depois treinados pelo responsável pela elaboração do plano ao realizar as atividades sob a sua supervisão. Neste caso, o responsável pela elaboração do plano foi o responsável pela manutenção; e
5. Na quinta etapa, a manutenção autónoma passou a ser executada somente pelos operadores, num contexto de melhoria contínua de modo a alcançar o objetivo de zero avarias. Deste momento em diante, os operadores são responsáveis pelos equipamentos que operam, cumprindo um plano de manutenção preestabelecido assim como as normas de manutenção que foram definidas na terceira etapa.

Como dito anteriormente, na SRAMPORT, este tipo de manutenção já era executado em todos os equipamentos da fábrica com uma frequência semanal, servindo esta ação para melhorar a forma como este era desempenhado, tornando as tarefas mais claras e simples para os operadores. As ordens de manutenção relativas à manutenção autónoma são geridas no sistema de *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa cujo processo será explicado em 5.2.

2.2. Overall Equipment Effectiveness

Um dos resultados esperados da implementação de um programa de TPM é a redução da ocorrência de paragens inesperadas por parte de equipamentos que afetem a produção e levem a consequentes perdas. A metodologia OEE engloba métricas que permitem avaliar em que grau é que o desempenho de cada equipamento está no nível a que é suposto estar. Este sistema de medida ajuda a gestão da produção a melhorar o desempenho do equipamento e, consequentemente, a reduzir o seu custo de posse (Ahuja & Khamba, 2008). A OEE é a principal métrica para avaliar o sucesso da implementação de um programa de TPM (Jeong & Phillips, 2001).

A OEE é calculada pelo produto de três parâmetros: disponibilidade, desempenho e qualidade. A *Disponibilidade* pretende medir a percentagem de tempo em que o equipamento esteve disponível para desempenhar a sua função no tempo total de análise. O tempo total de análise é representado pelo *Tempo de Abertura* e o tempo disponível (*Tempo de Funcionamento*) resulta da subtração das *Paragens* ao *Tempo de Abertura*. Deste modo, a *Disponibilidade* é dada por:

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ Abertura - Paragens}{Tempo\ de\ Abertura} \times 100 \quad \textbf{(2.1)}$$

O *Desempenho* representa em que medida a velocidade real de produção se aproxima da velocidade ideal, tendo em conta o tempo necessário para a produção de uma unidade de produto (*Tempo de Ciclo Ideal*) e a *Produção Total* no *Tempo de Operação*. Deste modo, o *Desempenho* é dado por:

$$Desempenho = \frac{Tempo\ de\ Ciclo\ Ideal \times Produção\ Total}{Tempo\ de\ Funcionamento} \times 100 \quad \textbf{(2.2)}$$

A *Qualidade* representa a percentagem de produção sem defeitos na produção total produzida. Portanto, a *Qualidade* é dada por:

$$Qualidade = \frac{Produção\ Total - Defeitos}{Produção\ Total} \times 100 \quad \textbf{(2.3)}$$

Esta métrica é vastamente aceite, a nível global, como uma ferramenta quantitativa essencial para medir a produtividade dos processos de uma organização (Huang, et al., 2002). Os valores de referência para os três parâmetros da OEE são de 90% de disponibilidade, 95% de desempenho e 99% de qualidade, resultando assim numa OEE de 85%. Este valor é considerado como uma referência em organizações de classe mundial (Ahuja & Khamba, 2008). No entanto, a literatura concorda que um valor de OEE de 60% é tipicamente encontrado na maioria das organizações que utilizam esta métrica.

Um dos principais objetivos da TPM é eliminar, ou pelo menos reduzir, todas as perdas relacionadas com o sistema de produção. A OEE é calculada considerando seis dessas perdas, que são habitualmente designadas por seis grandes perdas. A cada um dos três parâmetros da OEE são alocadas duas das seis perdas. Em relação à disponibilidade, as perdas consideradas estão relacionadas com paragens não planeadas, tais como avarias ou falta de matéria-prima, e paragens planeadas, tais como mudanças de fabrico ou calibrações e ajustes. Relativamente ao desempenho, são consideradas perdas por velocidade de

produção reduzida e pequenas paragens, geralmente inferiores a cinco minutos. Em relação à qualidade, são consideradas as perdas relativas a produtos com defeitos e a produtos que, por motivos de ajustes e afinações no arranque da produção, não estão conformes com as especificações. A explicação do cálculo da OEE, considerando as perdas mencionadas, pode ser visto na Figura 8.

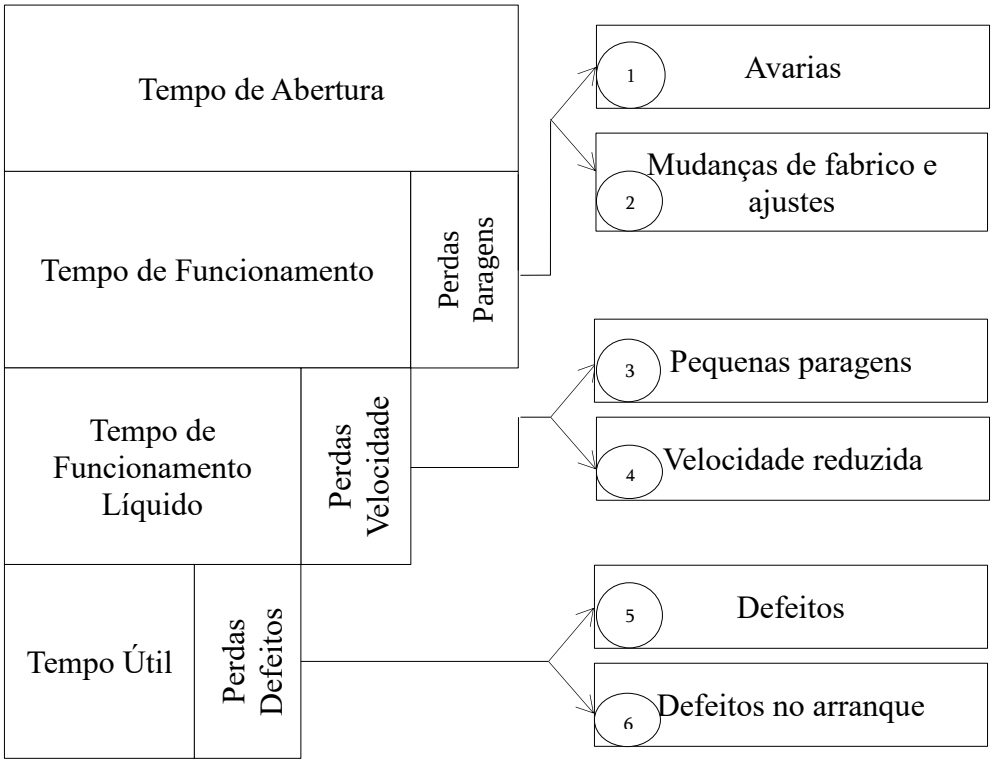


Figura 8 - Parâmetros da OEE considerando as 6 grandes perdas (Ahuja & Khamba, 2008)

2.2.1. Análise de OEE's na SRAMPORT

Na SRAMPORT a OEE é um dos indicadores utilizados para a avaliação da eficácia dos equipamentos pertencentes aos seus principais processos. Os alvos da análise são alguns dos equipamentos críticos para a produtividade da empresa, nomeadamente quatro das prensas de corte e estampagem de aço e cinco das máquinas de montagem de corrente em contínuo.

A recolha dos dados para a determinação dos três parâmetros necessários passou a ser, recentemente, feita de modo semiautomático, integrando características da Indústria 4.0, nomeadamente a IoT. Os equipamentos estão providos de sensores que recolhem parte dos dados, e estes são posteriormente enviados para um sistema informático, onde um

programa os analisa. A este programa chegam também os restantes dados que são inseridos manualmente, pelos operadores, no sistema ERP da empresa. As paragens que prejudicam a OEE são analisadas manualmente e, posteriormente, apresentadas à gestão para que se tomem ações de melhoria no sentido de as eliminar ou, pelo menos, reduzir.

Para o cálculo da *Disponibilidade*, põe-se em prática a mesma metodologia que é utilizada no cálculo da OEE original. O *Tempo de Abertura* resulta da subtração dos tempos de almoços e tempos sem produção ao tempo total de análise. O tempo sem produção é aquele em que a produção está parada por opção estratégica da gestão e, é por essa razão que não é contabilizado como paragem que prejudique a disponibilidade.

No que diz respeito ao *Desempenho*, utiliza-se o termo *Velocidade*, mas o cálculo é feito com base no conceito original. Tomando o exemplo das prensas de corte e estampagem de aço, a *Produção Total* é calculada com base na massa total de placas produzidas no *Tempo de Operação* analisado. Para este cálculo é necessário um valor de massa unitária de uma placa. Anteriormente esse valor de massa unitária era fixo com base em todos os tipos de placas existentes. Como cada prensa apenas produz certos tipos de placas, esse valor não estava correto, induzindo em erro o cálculo do parâmetro. Tendo em conta esse facto, um dos objetivos passou por retificar a forma como o cálculo era feito. Posto isto, passou-se a considerar apenas a massa do tipo de placas produzidas nesse horizonte temporal e em cada prensa. Posteriormente era feito o cálculo da média ponderada dessas mesmas massas e calculado o número total de placas produzidas, garantindo assim uma melhor aproximação ao valor correto. A velocidade de funcionamento de cada prensa é conhecida e expressa em golpes por minuto. Também é conhecido o número de placas produzidas em cada golpe e, com esses dados, é possível calcular o tempo necessário para produzir uma placa, ou seja, o *Tempo de Ciclo Ideal*. Seguindo o exemplo de uma das prensas presentes na fábrica, sabe-se que a sua velocidade de funcionamento é de 300 golpes por minuto e que produz 6 placas por golpe, o que resulta em 1800 placas por minuto, ou seja 0,000556 minutos necessários para a produção de uma placa. A *Produção Total* é multiplicada pelo *Tempo de Ciclo Ideal* e, posteriormente, é feito o seu quociente com o *Tempo de Operação* para se obter a *Velocidade*.

O parâmetro *Qualidade* é obtido como no conceito original, em que à massa total de placas produzidas é subtraída a quantidade não conforme e é posteriormente feito o quociente desse resultado com a massa total.

Após estarem presentes no sistema informático, os dados relativos a paragens são alvo de uma análise quinzenal. Nessa análise, é feito um diagrama de Pareto, como na Figura 9, onde se pretende demonstrar que 20% das causas de paragem representa 80% do tempo em que o equipamento esteve parado.

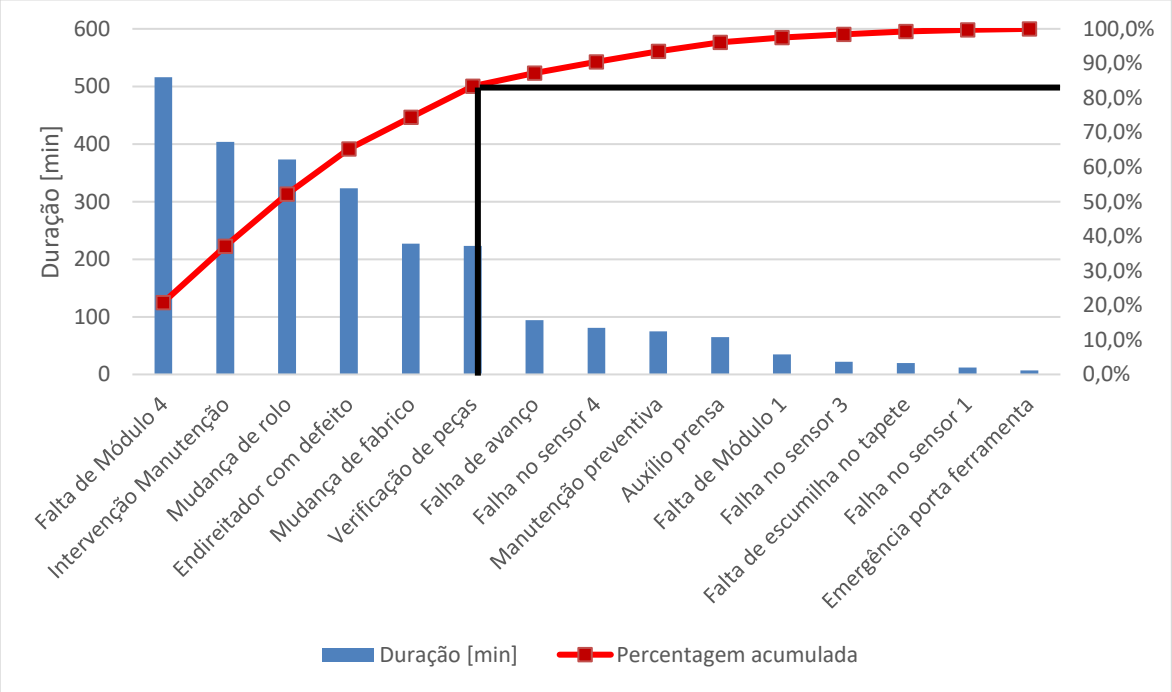


Figura 9 - Pareto de análise quinzenal da prensa PM3

Nesta análise é também representada a evolução de todos os parâmetros para cada equipamento, no sentido de se poder perceber facilmente qual é a sua tendência e se as ações de melhoria tomadas surgiram efeito. Um exemplo da evolução dos parâmetros de uma das prensas pode ser visto na Figura 10. Este método permite visualizar facilmente os problemas mais graves de modo a possibilitar a concentração de esforços e recursos na sua resolução, o mais rápido possível.

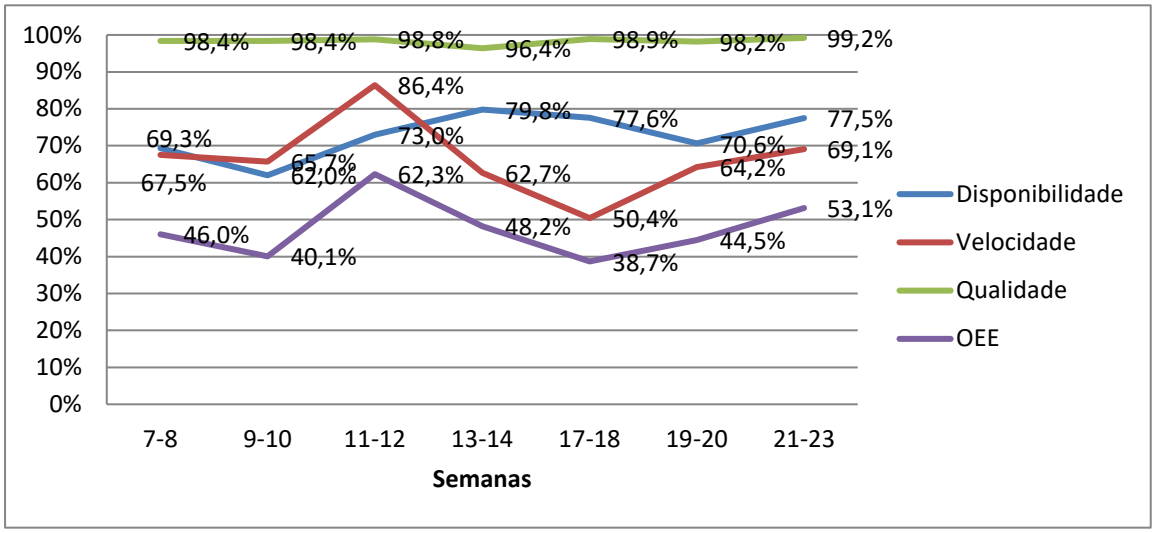


Figura 10 - Evolução da OEE e seus parâmetros da prensa PM3

Uma vez que a análise é feita apenas às paragens e "micro-paragens" (paragens inferiores a cinco minutos), o foco é na melhoria dos fatores Disponibilidade e Velocidade, uma vez que, no presente caso, são estes que mais prejudicam a OEE. Depois de realizada a análise, esta é apresentada à gestão e a intervenientes diretos em cada equipamento analisado, uma vez que são os mais entendidos naquilo que realmente se passa nos processos de fabrico a que estão alocados. Após a apresentação, são discutidas ações a tomar para a resolução dos problemas apresentados e, deste modo, surge um plano a seguir, contendo ações, os seus responsáveis e o prazo a que estes estão limitados para as executar. Como qualquer ferramenta de melhoria contínua, este processo é realizado ciclicamente, sendo ele próprio alvo de melhorias sistemáticas.

Um exemplo de uma ação desencadeada a partir da análise da OEE foi a duplicação de um módulo de uma das ferramentas utilizadas nas prensas de corte e estampagem de aço. Uma ferramenta é composta por quatro módulos individuais e, com alguma frequência, os módulos danificam-se e têm de ser reparados. Com o decorrer das análises quinzenais, foi possível perceber que a OEE de algumas prensas tinha vindo a apresentar valores abaixo dos 30%. Realizando uma análise mais detalhada das paragens nessas prensas, foi possível determinar que a principal causa de paragem, que neste caso era comum às prensas analisadas, era a falha de um determinado módulo com cerca de 72 minutos de paragem por dia no mês de janeiro. Este valor é alarmante e requer a sua resolução, o mais rápido possível. Tendo em conta que uma prensa pode produzir 1.800 placas por minuto, estava a acontecer uma perda de 129.600 placas por dia, ou seja,

2.851.200 placas no mês analisado. Como tal, a resolução mais adequada seria a duplicação desse módulo para que quando um falhe, exista outro para substituição imediata. Este tipo de resolução já acontecia na SRAMPORT mas apenas com base na experiência do pessoal da manutenção. Devido aos resultados promissores, este tipo de análise foi estendido a todos os módulos utilizados nos últimos seis meses.

Outro problema recorrente passava pela incorreta inserção de dados no sistema, por parte do operador. É importante referir que qualquer análise realizada é tão fiável quanto os dados que lhe dão origem. No que diz respeito às prensas, existe um conjunto de paragens que são manualmente inseridas pelo operador, quando for caso disso. Uma dessas paragens é designada como "ausência de operador" e aparecia constantemente no topo das causas, independentemente da prensa analisada. Durante as reuniões de discussão dos resultados surgiu a suspeita de que essa causa de paragem não estava a ser corretamente inserida, tendo em conta o funcionamento das prensas que os intervenientes testemunharam nas semanas analisadas. Essa paragem deve ser colocada sempre que há *kanbans* para produzir na prensa, mas esta não produz uma vez que o operador que seria suposto trabalhar com ela está ausente por qualquer motivo. No entanto, isso não acontecia. Na unidade autónoma de peças soltas trabalha-se em três turnos, sendo que das sete prensas existentes, apenas quatro trabalham em simultâneo, tendo em conta que estão lá alocados dois operadores por turno e cada operador se ocupa de duas prensas. O que realmente acontecia era que, nas três prensas que não se encontravam em funcionamento, se colocava a causa "ausência de operador" em vez do seu desligamento para que esse tempo fosse contabilizado no tempo sem produção. Para resolução do problema foi levada a cabo uma pequena formação aos operadores dos equipamentos em questão, para que ficassem melhor instruídos do que fazer quando a situação se repetisse. Como representado no exemplo da Figura 11, a causa "ausência de operador" deixou de ser uma das principais causas de paragem, chegando mesmo a ter durações muito baixas.

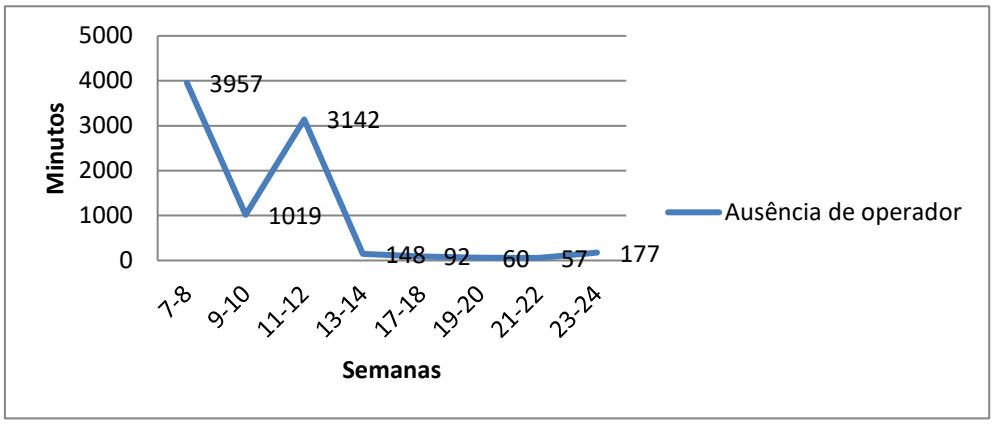


Figura 11 - Evolução da causa "ausência de operador" na prensa PM2

3. INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO

Apesar da célebre expressão *"Se não pode ser medido, não pode ser gerido"* não se aplicar a tudo o que é tratado numa organização, a verdade é que, no que diz respeito à manutenção, a expressão adequa-se. Uma vez que a manutenção e a fiabilidade dos sistemas afetam a capacidade de uma organização fornecer um serviço e/ou produto de qualidade e no momento certo, os gestores são encarregues com a responsabilidade de monitorizar o desempenho destas atividades de forma a garantir que estas são executadas de forma adequada (Muchiri, et al., 2011). É por essa razão que as organizações aplicam métricas que lhes permitem avaliar o desempenho das suas atividades de manutenção. A monitorização do desempenho da manutenção é, geralmente, realizada através de indicadores, definidos pela organização, e relacionados com as respetivas vertentes que se pretendem estudar.

De acordo com a norma NP EN 15341:2009, os indicadores de desempenho da manutenção dividem-se em três tipos: indicadores económicos, técnicos e organizacionais. Os indicadores económicos são todos aqueles que envolvem qualquer tipo de custo e pretendem mostrar resultados relativos a retornos financeiros. Os indicadores técnicos estão, na sua maioria, relacionados com a disponibilidade do sistema. Por sua vez, os indicadores do tipo organizacional estão relacionados com o número de técnicos de manutenção e o tempo que eles despendem nas intervenções dos vários tipos. Dentro de cada tipo, dezenas de indicadores são subdivididos em três níveis, sendo que os indicadores abaixo do primeiro nível representam uma versão mais detalhada dos indicadores dos níveis superiores. A norma oferece uma estrutura na qual as organizações podem consultar quais os indicadores sugeridos e escolher analisar os que mais se adequam à sua realidade, tendo em conta os resultados que pretendem obter e a informação disponível.

Outra classificação que pode ser atribuída aos indicadores de manutenção é a de os dividir em indicadores de processo e de resultados. Os indicadores de processo monitorizam em que medida as tarefas que são desempenhadas levarão a resultados. Por

outro lado, os indicadores de resultados monitorizam se as tarefas já desempenhadas levaram a bons resultados (Muchiri, et al., 2011).

Para se obterem os resultados desejados é importante gerir o processo levado a cabo para a execução da manutenção. Segundo Campbell, 1995 e como referido por Muchiri, et al., 2011 existem determinados passos-chave no processamento da manutenção, nomeadamente a identificação das tarefas a desempenhar, o seu planeamento, a sua calendarização e a sua execução. A identificação das tarefas envolve determinar as tarefas certas a serem desempenhadas no momento certo, pelos técnicos de manutenção, tendo em consideração os objetivos definidos. Esta etapa passa por identificar e controlar os modos de falha que possam afetar a capacidade do equipamento desempenhar a sua função. A definição de tarefas é feita com base na consequência das possíveis falhas no desempenho do equipamento, permitindo que os recursos sejam alocados em atividades estratégicas. Esta etapa assegura que as tarefas de manutenção desempenhadas contribuem positivamente para os resultados de desempenho. O planeamento das tarefas envolve a realização de procedimentos e ordens de trabalho para as tarefas previamente identificadas. Neste passo, identificam-se as necessidades de recursos, precauções de segurança e determinadas instruções necessárias para o desempenho do trabalho. O agendamento avalia a disponibilidade de todos os recursos necessários para o trabalho em questão e o intervalo temporal para a sua execução. É também neste passo que se avalia o impacto das atividades de manutenção na produção. A execução do trabalho garante que as tarefas calendarizadas são desempenhadas no intervalo temporal definido e através de uma utilização eficaz dos recursos. Este processo forma um ciclo e assegura que as tarefas de manutenção são realizadas de forma eficaz. Para que se possa gerir este processo, é necessário definir indicadores de desempenho para cada passo. Uma vez que quanto melhor forem os processos de manutenção, melhor serão os resultados da mesma, os indicadores relativos a estes processos são designados de indicadores de processo.

Uma vez concluídos os processos de manutenção, é necessário monitorizar os seus resultados para um determinado horizonte temporal (Muchiri, et al., 2011). Os resultados são apurados em termos de condições e desempenho de equipamentos, custos de manutenção e a utilização eficaz de recursos. É importante analisar os resultados da manutenção uma vez que estes auxiliam na identificação de lacunas no desempenho do equipamento e, por isso, servem-lhes de suporte num ciclo de melhoria contínua. A análise

do desempenho passa pela comparação dos resultados obtidos com os objetivos estabelecidos, comparação desses resultados com o histórico, análise das suas tendências e a revisão dos custos associados às atividades de manutenção. Os indicadores relacionados com os resultados da manutenção são designados de indicadores de resultados, uma vez que são obtidos após a análise dos mesmos.

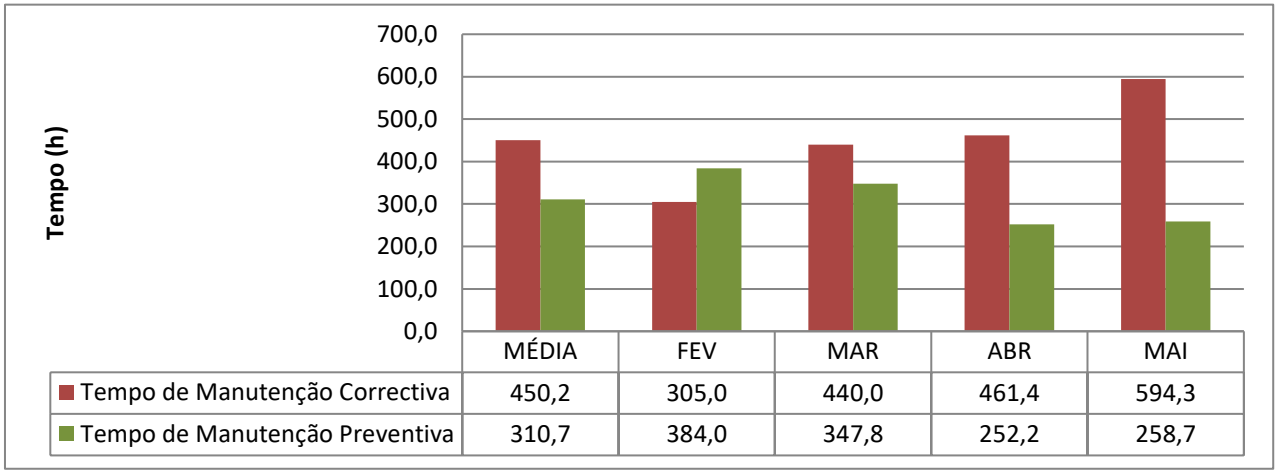
3.1. Indicadores de desempenho da manutenção na SRAMPORT

Na empresa, uma vez por mês passaram a conduzir-se reuniões onde se pretende discutir de que forma se comportou a manutenção no mês anterior. São apresentados alguns indicadores, relativos à manutenção preventiva e corretiva, assim como aos centros de trabalho elétrico e mecânico. De acordo com o desempenho apresentado, são definidas ações para melhorar as áreas que sobressaíram pela negativa.

Quanto à manutenção corretiva, é apresentado o número de notas criadas com a respetiva prioridade e o número de notas que não foram fechadas, isto é, notas que, apesar de criadas, não foram alvo de qualquer intervenção, permitindo assim fazer um balanço da eficácia deste tipo de manutenção. O número de notas criadas com prioridades 1 e 2, neste caso as que causam paragem de produção e produção reduzida respetivamente, deve cumprir o objetivo delineado pela empresa de ser inferior ou igual a 40 por mês. Também é conhecido o número de avarias em todos os equipamentos, permitindo depois uma análise mais detalhada aos equipamentos críticos, calculando-se tempos de reparações e tempos entre reparações. Isto permite à organização seguir de perto os seus equipamentos fulcrais para evitar avarias e garantir que a produção não seja afetada.

No que diz respeito à manutenção preventiva, aquela que é analisada é a sistemática, sendo que a autónoma é alvo de uma análise em separado. É calculada a sua eficácia, em termos absolutos, comparando o número de tarefas planeadas com o número de tarefas realmente executadas. É também possível calcular o acerto de programação, comparando os tempos planeados, para todas as intervenções, com os tempos realmente despendidos. No que diz respeito ao acerto de programação, caso os valores representem um acerto abaixo do objetivo de 95%, as atividades que levem mais ou menos tempo a executar do que àquele previamente definido são alvo de uma reformulação para que se ajustem as durações das tarefas ao que realmente é necessário para cada uma delas.

Transversalmente aos dois tipos de manutenção analisados é calculado o tempo despendido pelos técnicos em cada um deles e são apurados os seus custos descriminados por custos de mão-de-obra, de materiais e de serviços. Com estes valores, é possível verificar qual foi o contributo da manutenção para os custos globais no mês em questão. Um gráfico que ilustra o tempo despendido nas intervenções corretivas e preventivas sistemáticas ao longo de alguns meses pode ser visto na Figura 12. No caso da manutenção preventiva, alguns meses podem ter uma carga horária mais elevada que outros uma vez que, dependendo da periodicidade das tarefas deste tipo de manutenção, estas podem incidir mais num determinado horizonte temporal, cabendo à gestão da manutenção balancear a calendarização das tarefas para obter uma carga de trabalho mais distribuída.



	MÉDIA	FEV	MAR	ABR	MAI
Tempo de Manutenção Correctiva	450,2	305,0	440,0	461,4	594,3
Tempo de Manutenção Preventiva	310,7	384,0	347,8	252,2	258,7

Figura 12 - Evolução dos tempos de manutenção corretiva e preventiva

Todos os indicadores atualmente utilizados na SRAMPORT estão presentes na norma NP EN 15341:2009. Quanto à segunda classificação apresentada, a SRAMPORT utiliza, neste momento, indicadores de processo e de resultados, sendo que a sua maioria é do último tipo. No entanto, a informação disponível permite a apresentação de outros indicadores, também eles presentes na norma, e que auxiliariam a organização a entender ainda melhor o panorama da manutenção. Alguns exemplos de possíveis indicadores estão representados a seguir.

$$\frac{Tempo\ Total\ de\ Manutenção\ Corretiva}{Quantidade\ de\ Produto\ Produzida} \quad \textbf{(3.1)}$$

O indicador 3.1 permitiria à empresa perceber se o tempo empregue em manutenção corretiva se encontra relacionado com as quantidades de produtos produzidos. Seria expectável que quanto maior fosse o tempo de manutenção corretiva num determinado mês, menor seriam as quantidades produzidas uma vez que, como os equipamentos foram alvo de manutenção durante mais tempo que o desejado, estes não se encontravam disponíveis para desempenhar as suas funções. A empresa ficaria assim com uma representação formal do impacto que as intervenções de manutenção não planeadas têm na sua capacidade produtiva.

$$\frac{Nº\ de\ Acidentes\ de\ Trabalho\ nas\ Atividades\ de\ Manutenção}{Tempo\ Trabalhado\ nas\ Atividades\ de\ Manutenção} \quad \textbf{(3.2)}$$

O indicador 3.2 insere-se na vertente da segurança no trabalho e permitiria à empresa perceber em que medida as suas atividades de manutenção estavam a ser executadas de forma segura e de acordo com as normas de segurança existentes. O departamento de higiene e segurança podia utilizar a informação para modificar normas e procedimentos no sentido de tornar mais segura a execução deste tipo de atividades, evitando assim acidentes e promovendo o bem-estar dos seus técnicos.

4. MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

É fácil compreender que utilizar apenas manutenção corretiva numa unidade industrial não é a forma mais eficiente de encarar essa temática. É verdade que, hoje em dia, se encontram implementados na indústria planos de manutenção preventiva, sejam eles de manutenção sistemática ou condicionada mas, ainda assim, estes não garantem uma gestão otimizada de equipamentos e instalações. Atualmente, a estratégia de manutenção mais promissora é a Manutenção Preditiva (MPd) que beneficia da crescente proliferação da Indústria 4.0. A MPd é, também, potenciada pela emergente temática designada por *Prognostics and Health Management* (PHM).

A disciplina de PHM possibilita monitorizar o estado de instalações e equipamentos, permitindo tomar melhores decisões no que toca à manutenção desses ativos. Os principais objetivos de PHM passam pela deteção precoce da degradação do sistema ou componente, realização do consequente diagnóstico, realização do prognóstico e a gestão do estado da instalação ou equipamento em questão. Existem três questões às quais é necessário responder (Atamuradov, et al., 2017): Qual é o estado atual? Qual vai ser o estado futuro num dado horizonte temporal e qual é a vida útil restante até que este falhe? Qual vai ser o impacto da falha no desempenho do sistema? Para dar resposta a estas perguntas é implementado um programa de PHM (Atamuradov, et al., 2017). A MPd está integrada no PHM como uma das suas áreas de estudo e beneficia da sua abrangência.

A MPd pode ser aplicada a qualquer sistema desde que tenha um parâmetro físico que varie ao longo da sua utilização, como por exemplo vibração, pressão, voltagem ou temperatura. A monitorização destes parâmetros para fins de manutenção já é feita há alguns anos, no entanto com a evolução tecnológica presenciada nos dias que correm, é possível passar apenas da monitorização do estado atual para a previsão do estado futuro de um equipamento. Portanto, o que se discute é aliar tecnologias emergentes como a *Industrial Internet of Things* (IIoT), *Big Data*, Inteligência Artificial e Realidade Virtual à manutenção preventiva condicionada e transformá-la em manutenção preventiva preditiva.

A MPd pode representar aumentos em termos de disponibilidade, segurança, qualidade e produtividade dos equipamentos e instalações, além de um decréscimo dos

custos de manutenção e de outros associados a falhas de equipamentos (Raza & Ulansky, 2017). A MPd permite também reduzir custos em termos de peças de reserva ou mesmo substituição de equipamentos, uma vez que se tem conhecimento da sua vida útil restante, o que se traduz na utilização máxima de cada equipamento sem que este falhe.

As etapas a percorrer para a implementação de um programa de MPd passam pela aquisição de dados, o seu processamento, a deteção de degradação, o diagnóstico, o prognóstico, a tomada de decisão e, por fim, o desenvolvimento de uma interface homem-máquina (Atamuradov, et al., 2017). O primeiro passo inicia-se por selecionar o(s) equipamento(s) a monitorizar, definir qual variável é a mais indicada para o equipamento em questão e definir como é que a monitorização irá ser desempenhada. Dependendo do equipamento monitorizado, os dados recolhidos podem ser em forma de onda como a vibração ou o ruído, dados escalares como a temperatura ou a pressão, dados relativos a eventos como falhas ou intervenções prévias (Schmidt & Wang, 2015) ou ainda dados relativos a óleos, folgas ou gases emitidos pelo equipamento em questão.

Na segunda fase, os dados recolhidos devem ser processados, isto é, eliminar ruído ambiental e erros devido à leitura dos sensores. A análise de dados sem este ruído aumenta a probabilidade de chegar a conclusões mais precisas.

De seguida vem a fase de detetar a degradação ainda numa fase inicial, o que é tipicamente feito quantificando as inconsistências entre o estado atual e o suposto estado do sistema em condições de funcionamento normais.

O passo seguinte é diagnosticar o que está a causar a degradação do sistema. Responder a perguntas como: qual componente está degradado? O que causou a degradação desse componente? Qual é o impacto dessa degradação no funcionamento do sistema? A resposta a estas perguntas catapulta-nos para o próximo passo, o prognóstico. O prognóstico é definido como o processo de prever a vida útil restante do componente, ou seja, prever o tempo até que este deixe de poder desempenhar a sua função em condições normais de funcionamento.

De seguida vem a fase da tomada de decisões, onde é preciso selecionar a melhor estratégia de manutenção entre várias alternativas possíveis. A gestão da manutenção deve avaliar os prós e os contras de cada ação, baseando-se nos resultados do diagnóstico e do prognóstico.

Por último, o desenvolvimento de uma interface homem-máquina, que é utilizada para visualizar o estado de saúde dos componentes, analisar dados, executar e controlar ordens de manutenção.

Voltando um pouco atrás, no que diz respeito ao processamento dos dados, estes devem ser alvo de processos que os transformem em informação relevante com o potencial de auxiliar a tomada de decisões no por parte da gestão da manutenção. Para o efeito podem ser utilizadas várias técnicas, modelos e algoritmos. As diferentes abordagens podem ser categorizadas como baseadas em modelos, baseadas em informação e híbridas (Atamuradov, et al., 2017).

Nas abordagens baseadas em modelos, a degradação de um componente ou sistema é descrita por um modelo matemático e/ou equações derivadas de sistemas físicos. O modelo matemático é utilizado, em combinação com dados de manutenção condicionada, para prever a evolução futura do estado de saúde do sistema. Apesar destes modelos facultarem estimativas precisas, necessitam de um completo e detalhado conhecimento do sistema para serem devidamente executados.

As abordagens baseadas em informação visam construir modelos de degradação utilizando informação proveniente de dados recolhidos para a manutenção condicionada. Estes modelos baseiam-se em métodos estatísticos e de *machine learning*. Geralmente, os métodos de *machine learning* podem ser classificados em três categorias (Sun, et al., 2012): abordagens de aprendizagem supervisionadas, sem supervisão e semi-supervisionadas. Numa abordagem supervisionada, o algoritmo analisa informação agrupada em pares *input-output* e, baseando-se nessa análise, produz uma função capaz de encontrar o *output* para um dado *input*. Numa abordagem sem supervisão, a informação fornecida ao algoritmo não é classificada e este tenta detetar padrões e relacioná-los com algum tipo de degradação. Por sua vez, uma abordagem semi-supervisionada engloba características das abordagens supervisionadas, com parte da informação que lhe é fornecida a ser classificada previamente e características das abordagens sem supervisão, com a outra parte da informação sem classificação prévia. Os modelos baseados em informação necessitam mais tempo de processamento computacional do que os modelos físicos e são altamente dependentes da quantidade de informação disponível relativa à condição do sistema.

As abordagens híbridas, que representam uma nova abordagem no contexto do PHM, tentam integrar os méritos dos modelos físicos e dos modelos baseados em informação enquanto colmatam as lacunas de ambas abordagens complementando-as mutuamente.

Após a análise, os dados tornam-se informação relevante para a tomada de decisões. Com base nessa informação, o gestor de manutenção deve avaliar os prós e contras de cada possível ação e tomar a decisão que melhor se adeque à situação. Para suporte à decisão deve, também, ser desenvolvida uma interface homem-máquina que permita ao gestor visualizar a condição do equipamento, analisar a informação disponível, executar e controlar as operações de manutenção (Atamuradov, et al., 2017).

Apesar dos vastos benefícios teoricamente descritos pela literatura, a implementação de um plano de MPd também traz desafios (Sun, et al., 2012). Um deles passa pela seleção e localização dos sensores. A aquisição de dados é uma parte essencial da MPd e, uma vez que a medição inadequada de dados é um problema grave que afeta o prognóstico aquando da seleção dos sensores, é necessário ter em conta a sua robustez considerando o ambiente em que este irá ser utilizado, bem como o seu tipo tendo em conta o tipo de dados que vai recolher.

Outro desafio é selecionar o método de pré-processamento de dados, assim como o método de prognóstico a utilizar. Quando os dados são transmitidos é necessário ter em conta o ruído e interferência causados pelo ambiente envolvente pelo próprio sensor. Assim sendo, torna-se necessário um pré-processamento dos dados por filtração. Há muitos métodos de filtração, mas um processo de seleção de prioridade ainda não foi desenvolvido (Sun, et al., 2012). Quanto ao método de prognóstico, pode ser difícil ter a noção de qual é o mais apropriado para cada situação e, além disso, é um tópico comummente referido nas oportunidades futuras de investigação dentro da literatura consultada.

Lidar com as incertezas provenientes de dados reais é outro dos desafios enfrentados. Este desafio pode, muitas vezes, relacionar-se com uma eventual inadequada medição dos sensores (Atamuradov, et al., 2017). Uma vez que se analisem dados incorretos, o resultante prognóstico pode levar a intervenções preventivas desnecessárias por subestimação da vida útil restante ou, por outro lado, a falhas do sistema devido à sobrestimação da vida útil restante.

Por último, a análise do “custo-benefício” da implementação de um plano de MPd é algo importante mas complicado de executar. Apesar dos benefícios que um destes

planos pode trazer, a sua implementação é algo dispendioso em termos de aquisições, instalações e mesmo mudanças de cultura. Antes de se decidir avançar com qualquer plano, é importante verificar se os ganhos ultrapassam os custos e em quanto tempo é possível ter retorno.

4.1. Indústria 4.0 na SRAMPORT

Na verdade, a SRAMPORT integra características da Indústria 4.0 já há alguns anos. Existe, por exemplo, um sistema de acompanhamento da produtividade em alguns dos principais equipamentos, como é o caso das prensas de corte e estampagem de aço, máquinas de montagem de corrente em contínuo e fornos de tratamentos térmicos. Os dados necessários são recolhidos por autómatos presentes nos equipamentos e armazenados na memória interna de cada equipamento. Por sua vez, uma aplicação desenvolvida na empresa vai recolher esses dados e armazená-los numa base de dados de um servidor. Daí, um programa adquirido a uma empresa externa vai transformar os dados em informação para uma posterior apresentação em monitores presentes na fábrica e no escritório. Isto permite que todos os colaboradores tenham acesso visual imediato à produtividade destes equipamentos. No que diz respeito às OEE, parte dos dados recolhidos são também debitados automaticamente numa base de dados. Esses dados são depois utilizados, em conjunto com dados inseridos pelos operadores, por uma aplicação para o cálculo dos três parâmetros da OEE.

Como a cultura da organização está voltada, desde há muito, para este tipo de progressos tecnológicos, é normal que uma das suas ambições passe pela utilização da IIoT para a implementação de MPd. Com isso em mente, analisou-se a possibilidade de implementar este tipo de manutenção na nova prensa de corte e estampagem de aço, uma vez que era aquela que continha a mais recente tecnologia, o que se considerou algo relevante. Numa primeira fase, reuniu-se com os técnicos de manutenção que já realizavam manutenção preventiva condicionada no equipamento, a fim de recolher sugestões dos intervenientes mais entendidos no funcionamento da prensa. A manutenção condicionada já desempenhada passa pela medição de temperatura no quadro elétrico do setor, que permite apenas identificar se algum dos equipamentos lá presentes tem ou não problemas, e pela auscultação de ruído nos rolamentos dos motores das prensas mais importantes. No entanto,

estes tipos de monitorizações são muito rudimentares. No que diz respeito à medição de temperaturas, esta não permite identificar qual é o equipamento que está com problemas e muito menos qual é o problema. Por sua vez, a auscultação do ruído não passa, como o próprio nome indica, de uma simples auscultação sem qualquer tipo de medição e sem limite máximo definido. No último caso, a intervenção toma lugar se o técnico que executar a auscultação achar conveniente atuar, com base na sua experiência adquirida ao longo de anos de trabalho. Com isto em mente, torna-se claro que o desempenho da manutenção condicionada não se encontra no estado ideal, sendo possível melhorar e progredir até à MPd. Uma vez que já se auscultava o ruído dos rolamentos do motor num local estratégico, o grupo de trabalho concordou que a monitorização da vibração nesse mesmo local era o "rumo" mais promissor a tomar. Infelizmente, a implementação não foi concluída durante o estágio que deu origem à presente dissertação, mas o seu objetivo seria criar uma base de dados com os registos de valores adquiridos durante monitorizações de vibração dos rolamentos do motor, em contínuo ou com periodicidade a definir. Esses registos originariam uma tendência ao longo do tempo e, posteriormente, relacionar-se-iam com o funcionamento da prensa. Iria assim dar-se origem a um histórico onde se definiria um limite máximo de vibração, considerando eventuais avarias que decorressem no período de monitorização registado. A partir desse ponto, os registos das seguintes monitorizações iriam ser comparados com o limite máximo e com os registos anteriores, pretendendo-se estimar a vida útil restante dos rolamentos em cada monitorização. Uma vez estimada a vida útil restante, seria possível agendar uma intervenção antes que a falha ocorresse, coordenando-a com a produção para que esta não fosse afetada.

5. OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

Ao longo do estágio, para além do trabalho previamente descrito, foram desenvolvidas algumas atividades, também elas relacionadas com a manutenção. Essas atividades são descritas nos subcapítulos abaixo.

5.1. Gestão de *dossiers* de equipamento

Uma das funções da gestão da manutenção passa por armazenar toda a informação disponível sobre todos os equipamentos presentes nas instalações da empresa. O *dossier* de equipamento deve estar bem organizado e operacional, uma vez que serve de auxílio aos técnicos de manutenção, quer nas intervenções, quer na sua preparação. O *dossier* de equipamento divide-se, normalmente, em duas partes: o *dossier* do fabricante, contendo documentos técnicos, informação trocada e documentos contratuais e o ficheiro interno, que deve conter a informação criada e adquirida enquanto o equipamento já se encontrava na organização. O ficheiro interno deve ser estabelecido e atualizado sempre que necessário (Ramalho, 2016).

Na SRAMPORT o armazenamento dos *dossiers* é feito física e virtualmente. A documentação física mais relevante é disponibilizada em formato digital e é, posteriormente, armazenada no sistema informático da empresa, como representado na Figura 13. Neste caso, cada documento é associado a um determinado equipamento e é-lhe atribuída uma classificação documental, isto é, a descrição do tipo de documento que realmente é, como um manual, um desenho de um conjunto, um esquema elétrico, entre outros. A cada equipamento está também associada uma técnica que, no fundo, traduz a que atividade o equipamento se destina.

No que diz respeito ao armazenamento físico, os documentos são disponibilizados em gavetas e ordenados por número de equipamento. As gavetas são localizadas no edifício da fábrica para estarem próximas dos equipamentos e para que o seu acesso seja facilitado aos intervenientes que necessitam de consultar os *dossiers*. Durante o estágio surgiu a oportunidade de criar *dossiers* de equipamento para três equipamentos,

sendo um deles a nova prensa. Um excerto do seu dossier de equipamento físico pode ser visto na Figura 14.

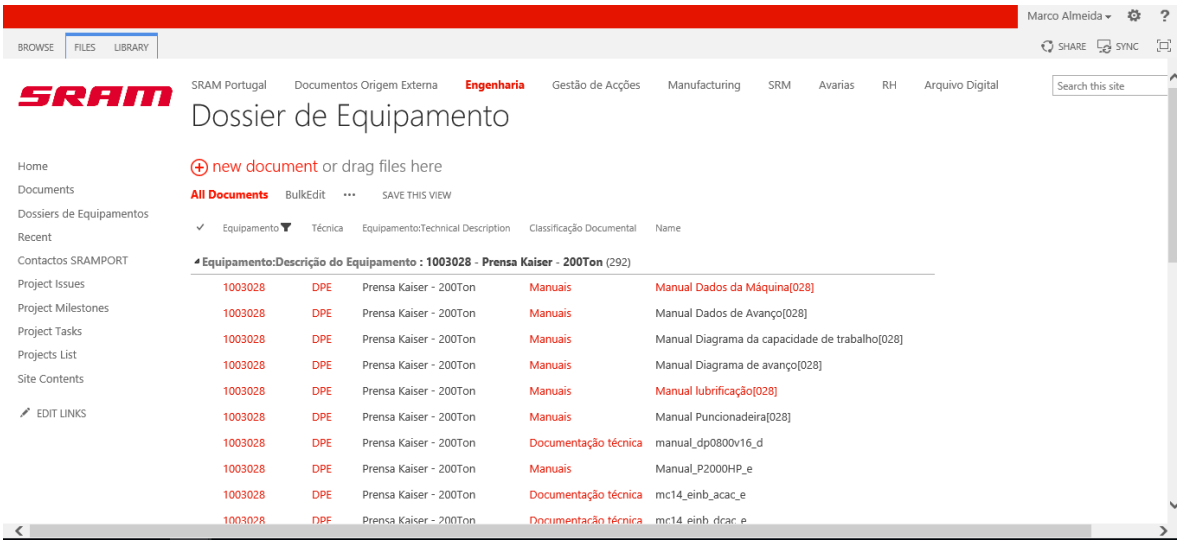


Figura 13 - Exemplo de *dossier* de equipamento virtual

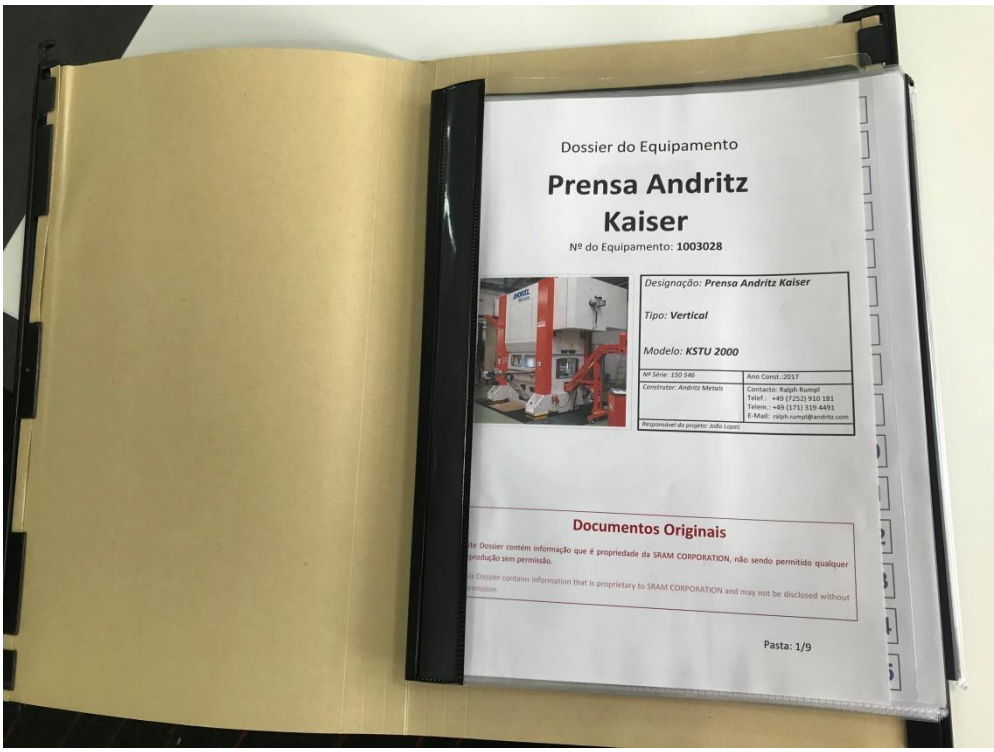


Figura 14 - Exemplo de *dossier* de equipamento físico

5.2. Gestão de ordens de manutenção preventiva autónoma e sistemática

Todas as ordens de manutenção, quer sejam corretivas ou preventivas, são processadas no sistema ERP da empresa. Relativamente às ordens de manutenção preventiva, nomeadamente as de autónoma, são processadas a cada quatro semanas. Para cada equipamento existe uma lista de tarefas para serem executadas pelos operadores, numa base semanal. O sistema ERP lança as ordens periodicamente e estas são posteriormente impressas e distribuídas por todos os equipamentos da fábrica. No final de cada semana, o operador alocado ao equipamento naquele momento regista na folha quais as tarefas que foram executadas. A cada quatro semanas, as folhas são recolhidas e as respetivas ordens fechadas no sistema ERP, registando-se as tarefas executadas. Este processo cíclico, realizado para mais de uma centena de equipamentos, permite obter a eficácia deste tipo de manutenção a cada quatro semanas. Caso a eficácia se encontre abaixo de um determinado nível, é possível desencadear ações para que as tarefas sejam, de facto, executadas. Um exemplo de uma folha de registo de manutenção autónoma utilizado na SRAMPORT pode ser visto na Figura 15.

Por sua vez, as ordens de manutenção preventiva sistemática são lançadas mensalmente e incluem todas as tarefas planeadas para cada equipamento e em que data devem ser desempenhadas, com base na sua periodicidade. Depois de lançadas, as tarefas são executadas pelos técnicos eletricistas e mecânicos e, posteriormente, fechadas por eles no sistema ERP. Assim como no processamento das ordens de manutenção autónoma, é possível retirar uma eficácia deste tipo de manutenção para que se possam tomar medidas se necessário.

SRAM.

15.06.2018 Registo Manutençao N1-Semanal MALMEIDA Original Página 1

Ordem 942925 Plano manutenção 325
1000012-Retificadora Afiamento LIVET/AFI
Data Inicial *18.06.2018* *Data Final* *18.06.2018*
Loc.instalação *0341/MAN* Manutenção
Equipamento *1000012* "Rectificadora de afiamento ""LIVET""
Dossier *433* *Localização* MANUT
Ctr.trab.resp. *AFI*

0010 Nivel 1 Semana 1 _____

0010 LUB:Accionar a bomba centralizada _____
0020 LIMP: Equipamento e area envolvente _____

0020 Nivel 1 Semana 2 _____

0010 LUB:Accionar a bomba centralizada _____
0020 LIMP: Equipamento e area envolvente _____

0030 Nivel 1 Semana 3 _____

0010 LUB:Accionar a bomba centralizada _____
0020 LIMP: Equipamento e area envolvente _____

0040 Nivel 1 Semana 4 _____

0010 LUB:Accionar a bomba centralizada _____
0020 LIMP: Equipamento e area envolvente _____

S1_____ S2_____ S3_____ S4_____

Figura 15 - Exemplo de uma ordem de manutenção autónoma

5.3. Elaboração de planos de manutenção preventiva

Quando um equipamento é adquirido, é necessário criar planos para calendarizar as tarefas de manutenção que lhe são associadas. Na SRAMPORT, tais planos encontram-se integrados no sistema ERP e são lançados com a periodicidade definida para posterior execução pelos diferentes responsáveis. Para tal, seguindo as recomendações do fornecedor presentes no manual e a experiência dos intervenientes caso já existam equipamentos semelhantes, é definida uma lista de tarefas com as respetivas periodicidades. Para cada equipamento são criados três planos: de manutenção autónoma desempenhado pelos operadores de cada equipamento, de manutenção elétrica desempenhado pelos técnicos eletricistas e de manutenção mecânica desempenhado pelos técnicos mecânicos. O que difere na elaboração dos três tipos de planos é, essencialmente, o tipo de tarefas, uma vez que a forma como estes são elaborados é similar. Em primeiro lugar é criada uma lista de

tarefas em que cada uma delas é precedida de uma abreviação que representa o tipo de atividade que se pretende executar:

- VERIF: Verificar
- LIMP: Limpar
- LUB: Lubrificar
- MED: Medir
- PURG: Purgar
- SUBS: Substituir

Estas abreviações ajudam os executantes a perceber de imediato qual é o tipo de tarefa que irão desempenhar. De seguida, as tarefas são ordenadas tendo em conta a sequência em que irão ser executadas. Isto acontece para que não haja redundância de ações como, por exemplo, abrir portas ou gavetas mais vezes que o necessário. Considerando o exemplo anterior, quando se abre uma porta executam-se todas as tarefas listadas que necessitem dessa mesma porta aberta.

A última fase na elaboração de planos é definir a duração e a periodicidade de cada tarefa. Normalmente, as tarefas dos planos de manutenção autónoma são realizadas uma vez por semana. Em relação aos planos de manutenção elétrica e mecânica, as tarefas podem ser agendadas com periodicidade mensal, trimestral, semestral, anual ou bianual, de acordo com as necessidades de cada uma. Durante o estágio foi necessário criar planos de manutenção para dois equipamentos, sendo um deles a nova prensa de corte e estampagem de aço. Um excerto de um plano de manutenção mecânica elaborado pode ser visto abaixo, na Figura 16.

Equipment 1003028 PRENSA KAISER 200Ton

Group 1112 1003028-PRENSA KAISER 200TON/MEC Grp.Countr 3

General Operation Overview

Act	SOp	Work ctr	Plnt	Ctrl	Operation Description	LT	Work	Un.
0010		MEC	0341	PT01	Controlos de segurança		0,0	MIN
0010	0011	MEC	0341	PT01	VERIF: Contactos das portas		15,0	MIN
0010	0012	MEC	0341	PT01	VERIF: Comando bimanual		15,0	MIN
0010	0013	MEC	0341	PT01	VERIF: Botão de paragem de emergência		15,0	MIN
0010	0014	MEC	0341	PT01	VERIF: Ligações elétricas		15,0	MIN
0010	0015	MEC	0341	PT01	VERIF: Estanquidade mangueiras/conexões		15,0	MIN
0010	0016	MEC	0341	PT01	VERIF: Coberturas		15,0	MIN
0020		MEC	0341	PT01	Acionamento principal		0,0	
0020	0021	MEC	0341	PT01	VERIF: Correia de acionamento e tensão		15,0	MIN
0020	0022	MEC	0341	PT01	VERIF: Desgaste correia de acionamento		15,0	MIN
0030		MEC	0341	PT01	Embraiagem e travão		0,0	
0030	0031	MEC	0341	PT01	VERIF: Rolamento de suporte de torque		15,0	MIN
0030	0032	MEC	0341	PT01	VERIF: Estanquidade do rotor		15,0	MIN
0030	0033	MEC	0341	PT01	VERIF: Pressão do ar (6 ± 0,5 bar)		15,0	MIN
0030	0034	MEC	0341	PT01	VERIF: Estanquidade ligações		15,0	MIN
0040		MEC	0341	PT01	Travão de paragem		0,0	
0040	0041	MEC	0341	PT01	VERIF: Estanquidade das magueiras		15,0	MIN
0040	0042	MEC	0341	PT01	VERIF: Estanquidade ligações roscadas		15,0	MIN

Figura 16 - Excerto do plano de manutenção preventiva sistemática da prensa KAISER

6. CONCLUSÕES

Apesar do bom desempenho já presenciado na manutenção da empresa, as oportunidades de melhoria foram, na sua maioria, exploradas com sucesso, oferecendo ao setor uma vertente mais estratégica que faltava anteriormente.

A ação de melhoria da manutenção autónoma permitiu relembrar e melhorar as atividades já desempenhadas, reforçando a envolvência da gestão nos trabalhos de terreno e, por consequência, fomentando um maior empenho por parte dos operadores em pequenas tarefas que, doutra forma, poderiam parecer dispensáveis. Falando ainda da manutenção autónoma, no futuro, as ordens poderiam ser informatizadas, tais como as de manutenção sistemática. A remoção do papel pouparia movimentos desnecessários durante a recolha e entrega dos documentos e tornaria mais fácil o seu processamento, quer do lado do operador, quer do lado da gestão.

O acompanhamento das OEE, cujos dados já se encontravam disponíveis mas sem o devido tratamento, permitiu perceber que os cálculos que as originavam não eram os mais fiáveis, carecendo de uma reformulação e resultando em análises mais credíveis. A análise quinzenal desses valores auxiliou a empresa a perceber quais equipamentos se encontram com menor eficácia e a tomar as consequentes medidas para reverter a situação. Para referência futura, a realização de análises semanais em vez de quinzenais melhoraria a qualidade das mesmas, reduzindo algum do possível ruído proveniente da recolha de dados automática e permitindo ter uma noção mais precisa de como se comportou a produção, para efeitos de comparação.

No que diz respeito à MPd, a SRAMPORT tem potencial mais que suficiente para a sua implementação, uma vez que já existe a recolha automática de alguns dados e ambição para continuar nesse caminho. Iniciar um projeto na nova prensa de corte e estampagem de aço seria algo benéfico já que se trata de um equipamento com tecnologia de ponta e um dos mais importantes ativos no presente e no futuro próximo. Conseguir prever uma avaria neste equipamento seria algo extremamente valorizável, na medida em que, para além de se pouparem os custos relativos a uma eventual reparação mais cara que a intervenção de manutenção preventiva, eliminar-se-iam os enormes custos de perda de produção devido à avaria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Actio Consulting Group, 2017. *Workshop Manutenção Lean - SRAM.* Porto: Actio Consulting Group.

Ahuja, I. & Khamba, J., 2008. Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions. *International Journal of Quality & Reliability Management,* Volume 25, pp. 709-756.

Atamuradov, V. et al., 2017. Prognostics and Health Management for Maintenance Practicioners - Review, Implementation and Tools Evaluation. *International Journal of Prognostics and Health Management,* Volume 8, p. 31.

Campbell, J. D., 1995. *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management.* Portland, OR: Productivity Press.

Huang, S. H. et al., 2002. Manufacturing System Modeling for Productivity Improvement. *Journal of Manufacturing Systems,* Volume 21, pp. 249-259.

Jeong, K.-Y. & Phillips, D. T., 2001. Operational Efficiency and Effectiveness Measurement. *International Journal of Operations & Production Management,* Volume 21, pp. 1404-1416.

Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L. & Martin, H., 2011. Development of Maintenance Function Performance Measurement Framework and Indicators. *International Journal of Production Economics,* Volume 131, pp. 295-302.

Nakajima, S., 1989. *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance.* Portland: Productivity Press.

NP EN 15341, (2009. *Norma Portuguesa para a Manutenção: Indicadores de desempenho da manutenção.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia: Lisboa.

Ramalho, A., 2016. *Apontamentos da Unidade Curricular de Manutenção - Capítulo 2 - Organização documental da manutenção.* Coimbra: Universidade de Coimbra.

Raza, A. & Ulansky, V., 2017. *Modeling of predictive maintenance for a periodically inspected system.* Cranfields, UK, Elsevier, pp. 95-101.

Schmidt, B. & Wang, L., 2015. *Predictive Maintenance: Literature Review and Future Trends.* Wolverhampton, UK, The Choir Press, pp. 232-239.

Sun, B., Zeng, S., Kang, R. & Pecht, M. G., 2012. Benefits and Challenges of System Prognostics. *IEEE Transactions on Reliability,* Volume 61, pp. 323-335.