

**Análise de variabilidade de um processo produtivo e redefinição
de planos de manutenção preventiva numa indústria
metalomecânica**

Mariana do Carmo Silva Fecha

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2020-06-29

In the midst of chaos, there is also opportunity.

Sun-Tzu

Resumo

A competitividade presente na indústria de embalagens para aerossóis exige níveis de excelência nos produtos produzidos. O projeto desenvolvido enquadra-se na ambição da empresa de melhorar os processos de fabrico, reduzindo a sua variabilidade.

A presente dissertação surgiu da recorrência de defeitos relacionados com a borracha utilizada para vedar as embalagens. As anomalias verificadas podem conduzir à produção de componentes não conformes, o que se traduz numa dificuldade acrescida no alcance dos níveis de produtividade pretendidos pela empresa. Assim, foi feita uma análise ao processo de estampagem dos componentes (cúpulas e fundos) seguindo uma abordagem fundamentada teoricamente e testada experimentalmente.

Decorrente da confeção de produtos que não se encontravam controlados a nível do peso da borracha, um dos objetivos considerados intentou alcançar a estabilização do processo. O estudo desenvolvido permitiu redefinir os limites de especificação no que concerne à quantidade ótima de vedante que deve ser aplicada nos componentes. Foi criada também uma ferramenta para controlo estatístico do processo, baseada no desenho e definição de cartas de controlo de variáveis.

Uma correta gestão da manutenção é inerente à preservação da qualidade. O foco inicial na máquina de aplicação de borracha destacou a ineficiência das intervenções realizadas a este equipamento. Com a normalização dos procedimentos, procurou-se alcançar uma melhor capacidade de resposta às necessidades da máquina. Uma análise ao panorama geral realçou o incumprimento das manutenções planeadas. Para contrariar esta conduta reativa, reformularam-se os planos de manutenção preventiva de todas as linhas de produção. De forma a responder ao dinamismo presente na realidade industrial, foram desenvolvidas ferramentas para uma monitorização contínua das atividades de manutenção.

A realização deste trabalho focou-se simultaneamente nos dois campos de ação, que, embora distintos, convergiram num melhor desempenho operacional. Resultante deste projeto, a empresa ficou capacitada de um maior controlo sobre o processo produtivo. Através das mudanças introduzidas no setor da manutenção, foram desencadeadas melhorias ao nível do processamento e balanceamento das intervenções planeadas.

Analysis of variability of a productive process and redefinition of preventive maintenance plans in a metal-mechanics industry

Abstract

The competitiveness present in the aerosol tinplate cans industry requires levels of excellence in the production process. The project developed is part of the company's ambition to improve manufacturing processes whilst reducing its variability.

The present dissertation arose from the recurrence of defects related to the compound used to seal packages. The anomalies detected can lead to the production of non-compliant components which translates into an increased difficulty to reach the company's desired productivity levels. Thus, a theoretically based and experimentally applied analysis of the stamping process of components (domes and bottoms) was made.

Due to the manufacture of products that were not controlled in terms of compound weight, one of the objectives was to achieve process stabilization. The developed study allowed to redefine the specification limits with regards to the optimal amount of sealant that should be applied to the components. A tool for statistical process control was also developed, based on the design and definition of variables control charts.

Correct maintenance management is inherent to quality preservation. Initial focus on the rubber application machine highlighted the inefficiency of its maintenance interventions. With the standardization of procedures, we sought to achieve a better way to respond to the needs of the machine. An analysis of the overall picture emphasised the failure to comply with planned maintenance. To counteract this reactive conduct, the preventive maintenance plans for all production lines were reformulated. In order to respond to the dynamism present in the industrial reality, tools were developed for continuous monitoring of maintenance activities.

This work focused simultaneously on the two fields of action, which, although different, converged on a better operational performance. As a result of this project, greater control over the company's production process was enabled. Through the changes introduced in the maintenance sector, improvements were made in terms of processing and establishing a balanced intervention planned.

Agradecimentos

À Colep, pela oportunidade de integrar este projeto, em especial ao meu orientador Pedro Pinho pelo conhecimento transmitido. Gostaria de deixar também um agradecimento a todos os colaboradores da Estampagem de Aerossóis pela disponibilidade demonstrada no curto espaço de tempo despendido na empresa.

Ao Professor Eduardo Costa, pela ajuda no decorrer do projeto e a prontidão das suas respostas. Mais do que a orientação dada, a partilha de palavras de positivismo foi fundamental para a elaboração da presente dissertação.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida. Obrigada por serem sempre os meus maiores fãs e por me transmitirem os valores essenciais que me tornaram na pessoa que sou hoje. Não sei para onde vou, mas nunca esqueço de onde vim. E eu sei que me vão acompanhar sempre em todos os meus passos.

A todos os meus amigos, pela boa disposição e pelos momentos partilhados. Um agradecimento especial à Lita e ao Daniel, pela amizade demonstrada nestes 5 anos. Vivemos uma montanha russa de emoções, de noites mal dormidas, de cafés de máquina, de comida de plástico, de conversas sobre tudo e sobre nada. Passámos pelo melhor e pelo pior juntos. Por muito inacreditável que pareça, conseguimos chegar ao fim desta etapa. Em relação ao que está para vir, a única certeza que eu tenho é que vai ser legen... wait for it... dary. Legendary! Seguimos juntos, sempre.

A Todos, o meu muito obrigada.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	A Colep	1
1.3	Descrição do Projeto.....	2
1.4	Objetivos do Projeto	2
1.5	Metodologia.....	3
1.6	Estrutura da Dissertação	3
2	Enquadramento Teórico.....	4
2.1	Variabilidade nos processos	4
2.1.1	Six Sigma.....	4
2.1.2	Aplicação de cartas de controlo	5
2.1.3	Análise de cartas de controlo.....	7
2.1.4	Capacidade do processo	7
2.1.5	Capacidade do sistema de medição.....	8
2.2	Manutenção	9
2.2.1	Modelos de Gestão da Manutenção	9
2.2.2	Tipos de Manutenção	10
2.2.3	Planeamento e Avaliação da Manutenção Preventiva.....	11
2.2.4	Indicadores de manutenção.....	13
3	Definição do problema	15
3.1	Embalagens Metálicas para Aerossóis	15
3.2	Processo Produtivo de Aerossóis	15
3.2.1	Stampagem.....	16
3.2.2	Montagem.....	18
3.3	Plano de Inspeção e Ensaio.....	18
3.4	Histórico dos Registos de Inspeção	19
3.5	Histórico das Manutenções Preventivas	20
3.6	Definição dos elementos de estudo	23
4	Análise do problema.....	24
4.1	Fatores potenciais de variabilidade	24
4.1.1	Estudo do processo produtivo	24
4.1.2	Estudo da capacidade do sistema de medição.....	25
4.2	Análise exploratória.....	26
4.2.1	Controlo estatístico do processo na linha 62	27
4.2.2	Controlo estatístico do processo na linha 69	29
4.3	Humidade Residual	30
4.4	Análise à máquina de aplicação de borracha.....	31
4.5	Ordens de Manutenção.....	33
4.6	Estudo dos equipamentos das linhas de produção	34
4.7	Síntese	36
5	Propostas de solução	37
5.1	Redefinição dos limites de peso húmido da borracha	37
5.2	Implementação de cartas de controlo	38
5.3	Metodologia de identificação de avarias	39
5.4	Planeamento interno das Manutenções Preventivas	40
5.4.1	Processo de intervenção	40
5.4.2	Redefinição dos planos de Manutenção Preventiva	40
5.4.3	Balanceamento das atividades	41
5.5	Ferramenta para definição de indicadores	42
5.6	Aplicação para monitorização das atividades de manutenção	43
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	44

6.1 Principais Conclusões	44
6.2 Perspetivas de trabalho futuro	45
Referências	47
ANEXO A: Expressões para calcular os limites das cartas de controlo	50
ANEXO B: Normas para aerossóis de 2 e 3 componentes	52
ANEXO C: Plano de Inspeção e Ensaio para fundos BT 50	53
ANEXO D: Registo Rotinas Qualidade para os fundos	54
ANEXO E: Percentagem de custos associados às atividades de manutenção	55
ANEXO F: Dados recolhidos para os testes de R&R	56
ANEXO G: Estudo R&R para a balança do laboratório	57
ANEXO H: Histogramas Humidade Residual L69	58
ANEXO I: Matriz de classificação segundo diferentes critérios de avaliação	59
ANEXO J: Fluxo de decisão sobre a criticidade dos equipamentos	60
ANEXO K: Gráficos de dispersão entre peso húmido e peso seco na L69	61
ANEXO L: Exemplo da folha Excel de registo para as linhas de produção de cúpulas	62
ANEXO M: Exemplo da folha Excel para monitorização mensal	63
ANEXO N: Folha de registo de serviços de manutenção	64
ANEXO O: Excerto plano de manutenção preventiva L62	65
ANEXO P: Instruções de utilização presentes na ferramenta para indicadores de manutenção	66
ANEXO Q: Exemplo de uma página da ferramenta para indicadores de manutenção	67
ANEXO R: Ferramenta para monitorização das atividades de manutenção	68

Siglas

C_p – Índice da Capacidade Potencial do Processo

C_{pk} – Índice da Capacidade Efetiva do Processo

CTQ – *Critical To Quality*

DMAIC – *Define, Measure, Analysis, Improve and Control*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

MA – Manutenção Autônoma

MC – Manutenção Corretiva

MP – Manutenção Preventiva

MTBF – *Mean Time Between Failure*

MTTR – *Mean Time to Repair*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OMP – Ordens de Manutenção Preventiva

P_p – Índice de Performance Potencial do Processo

P_{pk} – Índice de Performance Efetiva do Processo

R&R – Repetibilidade e Reprodutibilidade

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

TPM – *Total Productive Maintenance*

Índice de Figuras

Figura 1 - Forma característica de uma carta de controlo (fonte: Montgomery (2009)).....	6
Figura 2 - Zonas de uma carta de controlo (fonte: Montgomery (2009)).....	7
Figura 3 - Fluxograma em árvore dos tipos de manutenção (fonte: adaptado de J. S. Cabral (2004)).....	11
Figura 4 - <i>Trade-off</i> entre manutenção planeada e não planeada (fonte: Higgins et al. (2002))	11
Figura 5 - Volume ótimo de manutenção preventiva (fonte: Vasconcelos (1986))	12
Figura 6 - Curva da banheira (fonte: adaptado de Modarres et al. (2016)).....	13
Figura 7 - Fluxograma do processo produtivo	15
Figura 8 - Exemplo de um fundo (à esquerda) e de uma cúpula (à direita)	16
Figura 9 - Cravação dupla: 1º passe à esquerda e 2º passe à direita (fonte: Burton (2005))....	18
Figura 10 - Diagrama de Pareto para a produção de aerossóis em 2019.....	19
Figura 11 - Percentagem de componentes não conformes por linha de produção e mês	20
Figura 12 - Percentagem dos custos associados às atividades de manutenção	21
Figura 13 - Paragens por equipamento na linha 62 em 2019	22
Figura 14 - Paragens por equipamento na linha 69 em 2019	22
Figura 15 - Diagrama de <i>Ishikawa</i>	24
Figura 16 - Estudo R&R para a balança das linhas de produção	25
Figura 17 - Percentagem de componentes que não cumprem os limites de peso húmido e peso seco	26
Figura 18 - Carta de controlo $\bar{x}$.R e análise de capacidade para o peso húmido na linha 62 ...	27
Figura 19 - Carta de controlo $\bar{x}$.R e análise de capacidade para o peso seco na linha 62	28
Figura 20 - Resumo dos estudos de capacidade do processo	29
Figura 21 - ANOVA para peso húmido no segmento esquerdo e direito da linha 69.....	29
Figura 22 - Histograma da Humidade Residual na L62	30
Figura 23 - Diagrama de Pareto das paragens associadas à máquina da borracha.....	31
Figura 24 - Evolução do tempo das paragens (%) entre intervenções.....	32
Figura 25 - Distribuição semanal das OMP planeadas para 2019.....	33
Figura 26 - Distribuição semanal das OMP realizadas em 2019.....	34
Figura 27 - Exemplo de aplicação de uma metodologia de organização de tarefas de manutenção preventiva	35
Figura 28 - Gráfico de dispersão entre peso húmido e peso seco na linha 62.....	37
Figura 29 - Fluxograma de decisão do modo de atuação	39
Figura 30 - Exemplo de tabela de registos do percurso do fluxograma	39
Figura 31 - <i>Swimlane</i> para o processamento de OMP.....	40
Figura 32 – Nova distribuição semanal das OMP planeadas	42

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características dos componentes produzidos nas linhas da estampagem de aerossóis	16
Tabela 2 - Nomenclatura dos códigos das paragens relevantes.....	31
Tabela 3 - Análise dos tempos para resolução das OMP	34
Tabela 4 - Proposta de limites para o peso húmido da L62.....	38

1 Introdução

O presente projeto foi desenvolvido no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto numa empresa industrial de embalagens de metal e plástico que desenvolve a sua atividade num setor altamente competitivo. A Colep destaca-se pela qualidade e variedade dos seus produtos, daí ter surgido a necessidade de adotar melhorias para responder às necessidades e exigências do mercado.

Neste capítulo é feita uma breve descrição do contexto do projeto e da empresa onde foi realizado, sendo definidos objetivos e apresentada a metodologia utilizada para a consecução dos mesmos.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Com a globalização da economia, é imprescindível que as organizações priorizem todos os fatores que influenciam a sua competitividade. A empresa onde o projeto foi desenvolvido é uma das principais produtoras de embalagens metálicas para aerossóis a nível europeu, estando comprometida em atingir níveis de serviço excelentes.

O presente projeto foi realizado na área de estampagem de aerossóis, onde são produzidos cúpulas e fundos. Estes componentes, juntamente com um terceiro elemento, formam a embalagem de aerossol. Para atingir as quotas de mercado desejadas, é fundamental que todos os componentes sejam produzidos de acordo com os padrões de qualidade estipulados. Uma vez que o projeto se foca em componentes que vão constituir embalagens para aerossóis, consideradas explosivas, é de ainda maior importância que todos os requisitos sejam cumpridos para que possam ser apresentadas no mercado sem falhas que acarretem danos humanos. Um dos requisitos mais importantes é que a embalagem tenha a capacidade de suportar determinadas pressões sem ocorrer deformação. Como tal, os componentes necessitam de ter a quantidade adequada de vedante, de modo a garantir que a embalagem fica propriamente isolada e sem defeitos visuais. Existe, então, pertinência de se compreender a variabilidade associada ao processo de aplicação de borracha nos diferentes componentes. É também de extrema relevância avaliar se os limites definidos para este parâmetro permitem atingir os níveis ótimos de qualidade e definir quais os fatores que impactam o resultado final.

Neste espetro de atuação, surgiu a necessidade de estudar a apetência funcional dos equipamentos envolvidos no processo produtivo. A manutenção é um fator indissociável da qualidade. As atividades ligadas à manutenção asseguram ações imprescindíveis para manter e restabelecer os ativos de uma empresa, de forma a que os processos decorram sem anomalias e tenham capacidade de produzir produtos conformes. A manutenção destaca-se como fator chave na estrutura de custos das empresas, tendo a capacidade de melhorar significativamente os índices de produtividade. Torna-se, portanto, crucial planear cuidadosamente as intervenções realizadas, com o intuito de melhorar a eficiência da manutenção e reduzir os custos associados à mesma.

1.2 A Colep

A Colep foi fundada em 1965, em Vale de Cambra, pelo Engenheiro Ilídio da Costa Leite de Pinho, dedicando-se inicialmente ao fabrico e comercialização de embalagens metálicas comemorativas.

Em 1975, a Colep iniciou a sua atividade em *Contract Manufacturing*, passando a dedicar-se ao fabrico, formulação e enchimento de embalagens de aerossóis.

Em 1982, a empresa assumiu a produção de embalagens plásticas e, em 1993, deu um passo decisivo na sua expansão com o primeiro investimento fora de Portugal. Atualmente, a Colep encontra-se espalhada por todo o mundo, marcando presença em 13 países diferentes.

No ano de 2001, a Colep é adquirida na totalidade pela *Iberholding* – Sociedade Gestora de Participações Sociais, S.A., pertencente ao Grupo RAR.

Atualmente, a Colep é líder de mercado europeu no desenvolvimento, formulação e enchimento de produtos de higiene pessoal, higiene do lar e farmacêutica, assim como no fabrico de embalagens metálicas.

A missão da Colep é trabalhar com os seus clientes para trazer conforto aos consumidores. A sua visão é ser líder na criação de valor, fornecendo soluções de produtos, produção e embalamento aos consumidores, através de inovação, tecnologia e práticas sustentáveis.

Os valores da Colep assentam nos seguintes pilares:

- *Customer Focus*: foco no cliente e dedicação plena às suas necessidades e requisitos;
- *Ethics*: ética, respeito e confiança transversais a toda a organização;
- *Learning and Creativity*: aprendizagem e criatividade na descoberta e criação de novas soluções;
- *Value Creation*: compromisso de criação de valor para os consumidores;
- *Passion for Excellence*: esforço pela melhoria contínua e excelência em todas as atividades.

1.3 Descrição do Projeto

O presente projeto incidiu na área de estampagem de aerossóis e resultou da recorrência de um defeito relacionado com a borracha utilizada para vedar as embalagens. A produção de componentes não conformes revela-se uma dificuldade para a empresa atingir a produtividade desejada nas diferentes linhas de produção associadas a estes componentes.

Neste âmbito, o presente estudo pretende reduzir a variabilidade associada ao processo de aplicação de vedante. Para que tal seja possível, pretende-se estudar cuidadosamente o processo para averiguar as causas do defeito recorrente. Após uma fase de diagnóstico, é necessário proceder à determinação de valores-alvo adequados para a quantidade de borracha aplicada.

Tendo em conta a variabilidade associada a este processo, é pertinente proceder-se ao estudo dos equipamentos envolvidos. É imprescindível criar ferramentas capazes de facultar informação detalhada sobre os equipamentos, de modo a facilitar as intervenções realizadas por parte da força laboral. O foco deste trabalho passa também pela reorganização dos planos de manutenção preventiva, com especial destaque para a definição e estruturação das diferentes tarefas de trabalho e a periodicidade com que as mesmas devem decorrer.

1.4 Objetivos do Projeto

De uma forma genérica, os objetivos deste trabalho prendem-se com a análise de variabilidade de duas linhas de produção e com a organização dos planos de manutenção preventiva dos equipamentos envolvidos no processo produtivo.

O projeto tem como objetivo responder a questões como:

- Quais os fatores que têm influência na quantidade de borracha aplicada nos componentes?
- Que tipo de controlo é feito atualmente e que mudanças podem ser implementadas?

- Qual o valor ótimo de borracha a controlar de modo a reduzir a variabilidade?
- Qual o impacto das ações de manutenção na qualidade do processo?
- Qual a metodologia para identificar os componentes mais críticos?
- Quais as melhores práticas e metodologias a adotar no setor da manutenção?

O objetivo final é, caso seja obtida resposta às diferentes questões, estender a abordagem às restantes linhas de produção na estampagem de aerossóis que não foram tidas em conta no presente estudo.

1.5 Metodologia

O desenvolvimento do projeto assentou, numa fase inicial, na recolha de conhecimento dos técnicos e operadores do processo. Apesar de ser de curta duração, esta pesquisa foi feita com observação *in loco*, que permitiu compreender as diferentes etapas do processo produtivo e identificar as principais características e variáveis que influenciam o mesmo.

Para analisar as causas do problema, foram estudadas as suas potenciais fontes, com recurso a um diagrama Espinha de Peixe (ou de *Ishikawa*). Posteriormente, procedeu-se à medição das amostras para uso estatístico e à consequente análise e modelação destes dados. À medida que os problemas foram detetados, desencadearam-se ações de melhoria que garantem a sustentabilidade e standardização do processo.

Paralelamente, foi necessário fazer um estudo aprofundado da situação atual no que diz respeito aos históricos de manutenção. Foram criadas ferramentas capazes de colmatar os problemas identificados nesta análise, permitindo a implementação de planos de manutenção mais ajustados às necessidades dos equipamentos. Para além da organização dos procedimentos da manutenção, procurou-se normalizar e automatizar as diferentes tarefas e instruções de trabalho, para assegurar uma maior eficácia do método de trabalho da equipa de manutenção.

1.6 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O presente Capítulo relaciona-se com a contextualização e motivação do projeto a desenvolver, bem como a delineação dos objetivos a alcançar e a metodologia adotada para abordar o problema.

O Capítulo 2 debruça-se sobre o estudo teórico dos conceitos e metodologias que serviram de base para o desenvolvimento de todo o projeto.

No Capítulo 3 é apresentada a situação atual da área de trabalho, sendo feita uma caracterização dos processos e operações industriais considerados pertinentes. Também se encontram reportados mais pormenorizadamente os problemas identificados.

No Capítulo 4 exploram-se os problemas diagnosticados e possíveis causas para os mesmos. Este estudo permite um conhecimento mais aprofundado do processo e das ocorrências que induzem o aparecimento de anomalias.

O Capítulo 5 aborda as soluções propostas para mitigar os problemas detetados durante o decorrer do projeto.

No Capítulo 6 são retiradas conclusões do trabalho desenvolvido e abordadas sugestões de melhoria para implementação em trabalhos futuros.

2 Enquadramento Teórico

No presente Capítulo são revistos fundamentos teóricos e conceitos centrais para o desenvolvimento do projeto. A consulta literária documentada permite reunir as ferramentas fundamentais para traçar a estratégia mais adequada para a resolução dos problemas encontrados.

2.1 Variabilidade nos processos

A variabilidade é inerente a todos os processos e pode ser definida como uma oscilação da média ou do ponto ideal do processo. Quando as oscilações são significativas, incorre-se no risco de produzir produtos que não cumpram as especificações de conformidade desejadas. A variabilidade pode ser proveniente de causas aleatórias ou de causas assinaláveis. A primeira causa é oriunda de fatores não controláveis, com um grau de ocorrência significativamente elevado, mas cujas repercussões não são significativas. Já a segunda é derivada de fatores controláveis e previsíveis, que têm um grande impacto no processo (Montgomery, 2001).

Segundo Montgomery (2009), a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. O controlo da qualidade tem como objetivo proporcionar estabilidade aos processos através da minimização da dispersão natural dos resultados. Para identificar estas anomalias, é necessário avaliar primeiramente a performance atual, comparar com os objetivos traçados e implementar medidas nas diferenças verificadas (Juran and Godfrey, 1999).

Como forma de assegurar o cumprimento dos níveis de qualidade desejados, todos os estágios do processo devem ser estudados para compreender a origem da variabilidade e procurar soluções para a mitigar. As principais fontes de variabilidade resultam de flutuações no ambiente de trabalho e de efeitos mais complexos, como interrupções imprevisíveis, problemas de qualidade e configurações (Hopp and Spearman, 2011).

Atualmente, com o progressivo foco das empresas na elevação dos seus parâmetros de qualidade, surge a necessidade de identificação de melhorias e de criação de metodologias que visem o cumprimento de tais requisitos. As ferramentas e as metodologias pertinentes neste trabalho são objeto de análise nos subcapítulos seguintes.

2.1.1 Six Sigma

Apesar de existir uma crescente popularidade de estratégias de melhoria da qualidade nos serviços e produtos, encontram-se ainda poucas referências ao Six Sigma nas indústrias portuguesas (Albuquerque Marques and Matthé, 2017). Esta metodologia reinventou e promoveu as ferramentas previamente aplicadas noutros programas de qualidade, como é o caso da Cadeia de Reação de Deming. Esta cadeia defende que, com o aumento da qualidade dos produtos ou serviços, existe uma redução de custos e um aumento de produtividade. Consequentemente, uma organização tem uma maior capacidade de permanecer mais tempo no ativo e elevar a sua participação de mercado (Shewhart and Deming, 1986).

No sentido genérico, o termo Six Sigma remete para uma estatística que descreve a variabilidade existente num processo através da contabilização de ocorrências que se desviam da perfeição. Esta métrica tem como objetivo reduzir a variabilidade do processo para que os limites de especificação permitam uma variação da média de seis sigma em ambas as direções. Atingir um nível de qualidade Six Sigma significa que os processos não apresentam mais do que 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (Montgomery, 2009).

De acordo com Magnusson (2000), o Six Sigma pode ser definido como o processo que permite às empresas melhorar significativamente o seu *bottom-line*¹ através do planeamento e monitorização diários das suas atividades com o intuito de minimizar o desperdício e os recursos consumidos e, simultaneamente, aumentar a satisfação dos consumidores. Esta metodologia compreende algo mais abrangente do que os programas de qualidade tradicionais, sendo uma adaptação e aprimoramento da gestão da qualidade total (Pande et al., 2000). Harry (1998) defende que o Six Sigma fornece métodos específicos para recriar o processo de modo a que os defeitos e erros sejam antecipados e prevenidos antes de ocorrerem. Kumar and Sosnoski (2009) acrescentam que esta estratégia deve permear toda a organização, desde a produção à administração, não se focando unicamente na área de qualidade. Com esta abordagem, é possível promover o aumento da eficiência de todos os processos que fazem parte da organização e obter um maior envolvimento de todos os colaboradores que adquirem maior experiência na resolução de problemas (Pyzdek and Keller, 2003).

O Six Sigma baseia-se no modelo conhecido pela sigla DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*), utilizado para a melhoria dos processos com foco na qualidade dos produtos. O DMAIC é um processo cíclico sustentado por uma estrutura faseada por etapas. Estas etapas são habitualmente sequenciais, contudo é possível que algumas atividades ocorram simultaneamente ou possam ser iterativas (Shankar, 2009). Esta metodologia tem como alicerce o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), também denominado como ciclo de Deming (1982). O recurso a esta ferramenta permite acompanhar todo o processo de implementação de ações de melhoria de forma contínua e contribui para a obtenção de resultados promissores para a organização (Linderman et al., 2003).

Segundo Shankar (2009), os cinco passos do DMAIC permitem:

- D (*Define*) – delinear o projeto com base nas necessidades da organização ou do cliente através da definição dos objetivos a ser alcançados, do impacto financeiro e do cronograma para o cumprimento das diferentes tarefas;
- M (*Measure*) – identificar e quantificar as variáveis que influenciam as características *Critical to Quality* (CTQ), de modo a validar o problema e fornecer dados para investigar as causas raiz das anomalias;
- A (*Analyze*) – assinalar as causas reais do problema e identificar as relações de causa-efeito, e respetiva interpretação;
- I (*Improve*) – implementar as melhorias necessárias em cada um dos problemas identificados para reduzir a variabilidade do processo;
- C (*Control*) – selecionar e standardizar métodos para controlar variações futuras no processo. Isto exige a implementação de um plano de monitorização contínua para garantir as condições necessárias para as variáveis do processo permanecerem dentro das tolerâncias definidas.

2.1.2 Aplicação de cartas de controlo

As cartas de controlo, introduzidas por Shewhart (1931), são uma ferramenta poderosa que permite monitorizar os processos através da deteção de variações nos parâmetros do processo. Um dos objetivos primordiais das cartas de controlo é assinalar causas particulares de variação, identificando os momentos em que tais fenómenos ocorrem e, posteriormente, eliminá-los com uma maior facilidade (J. A. S. Cabral and Guimarães, 2007). Um processo diz-se em controlo se apenas existirem causas de variação aleatórias. A variação pode refletir uma situação de instabilidade, caso coexistam causas que não são inerentes ao processo e cujos efeitos produzam fortes perturbações (Shewhart and Deming, 1986). A avaliação da variabilidade do processo e

¹ Termo utilizado na Contabilidade para retratar o resultado líquido.

consequente eliminação constitui uma técnica potente para analisar problemas de qualidade e aperfeiçoar o processo de produção e o próprio produto (Gildeh et al., 2014). Na Figura 1 está representado o formato característico de uma carta de controlo.

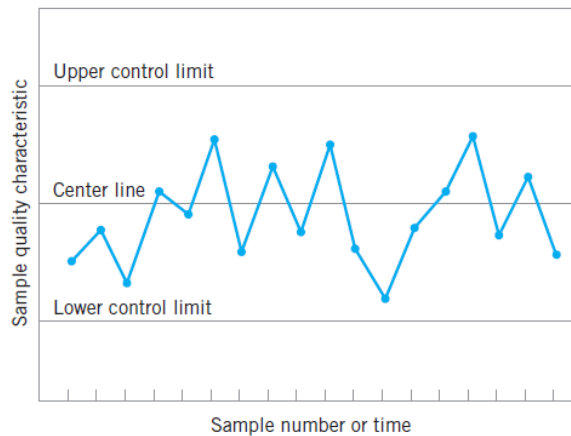


Figura 1 - Forma característica de uma carta de controlo (fonte: Montgomery (2009))

As cartas de controlo são constituídas por uma linha central (CL), que representa a média dos valores observados para a característica em estudo, e duas linhas horizontais de controlo superior (UCL) e inferior (LCL) (J. A. S. Cabral and Guimarães, 2007). As expressões que permitem determinar os limites de controlo das cartas $\bar{x}$ e R encontram-se no Anexo A.

O tipo de carta de controlo varia consoante a dimensão das amostras e os tipos de dados que são utilizados, sendo que estes podem ser atributos ou variáveis. Contrariamente àquilo que se verifica nas cartas de controlo para atributos, as cartas de controlo para variáveis permitem adquirir um maior número de informações relativas ao desempenho do processo. Deste grupo de cartas, destacam-se as cartas de média ($\bar{x}$) e de amplitude (R) pela sua maior aplicação sob o ponto de vista da qualidade do produto. A carta de controlo mais utilizada é, portanto, a combinação destas duas cartas ($\bar{x}$.R). A carta $\bar{x}$ pode apenas ser avaliada se a carta R não estiver fora de controlo. Caso tal se verifique devido a uma causa especial, deve-se proceder à eliminação desse ponto e estabelecer novos limites com os restantes pontos. Este procedimento deve ocorrer até que a carta reflita que o processo está em controlo (R. Schmidt et al., 1997). Para as cartas de controlo $\bar{x}$.R é recomendada a utilização de subgrupos de tamanho n constante, sendo que os valores tipicamente utilizados para o n variam entre 2 e 5.

A utilização de subgrupos de amostras nem sempre é a opção mais vantajosa. Muitas vezes é mais proveitoso recolher os dados em medidas individuais, o que pode ser traduzido como um subgrupo de $n=1$. Para estas situações, utilizam-se cartas de controlo I.MR. A carta de controlo I assemelha-se à carta de controlo $\bar{x}$, diferindo na medida em que os pontos são as medidas entre si, ao invés de serem as médias dos subgrupos, situação verificada nas cartas $\bar{x}$. A carta de controlo MR tem a mesma base que a carta de controlo R, só que os pontos correspondem a amplitudes móveis (Montgomery, 2009). No Anexo A é possível encontrar as expressões para calcular os limites destas cartas.

Especificar os limites de controlo é uma decisão crítica aquando da construção de cartas de controlo. Com a deslocação dos limites de controlo para uma zona mais distante da linha central, decresce o risco de aparecimento de um erro do tipo I, isto é, a probabilidade de um ponto se localizar fora dos limites de controlo, indicando que o processo está fora de controlo, quando não estão presentes causas assinaláveis. No entanto, incorre-se numa maior probabilidade de ocorrência de erros do tipo II, o que indica a possibilidade de um ponto estar contido dentro dos limites quando na verdade o processo se encontra fora de controlo (Montgomery, 2009).

2.1.3 Análise de cartas de controlo

As cartas de controlo são uma ferramenta intuitiva para interpretar visualmente o desempenho de um processo produtivo. Existem diferentes regras para analisar as cartas de controlo e tirar ilações sobre a variabilidade associada aos processos.

É relevante destacar as vantagens que decorrem de as cartas de controlo serem construídas com base em sucessões temporais de estatísticas amostrais. A análise das sequências de observações permite aumentar a sua capacidade de diagnóstico, dado que o descontrolo não é apenas sinalizado por pontos fora dos limites, mas também pelo acontecimento de determinadas sucessões cuja ocorrência é tão improvável como um ponto fora dos limites de controlo (Montgomery, 2009):

- 8 pontos sucessivos acima da linha central ou 8 pontos sucessivos abaixo da linha central;
- 4 de 5 pontos consecutivos localizados a uma distância superior a 1σ da linha central;
- 2 de 3 pontos consecutivos fora dos limites de aviso 2σ ;

Por outro lado, a existência de padrões anormais de evolução podem indiciar a presença de causas especiais de variação. O conjunto de critérios utilizados mais vulgarmente para a sinalização destas situações de descontrolo são:

- Tendências: 7 ou mais pontos sucessivos numa sequência crescente ou decrescente;
- Grandes oscilações: de entre 3 pontos consecutivos, existir um entre o UCL e a linha $+2\sigma$ e outro entre o LCL e linha -2σ ;
- Proximidade da linha central: maioria dos pontos localizados dentro da área limitada pelas linhas 1.5σ ;
- Periodicidade: autocorrelação negativa e positiva.

Embora permitam aumentar a sensibilidade das cartas de controlo, as regras baseadas nas sequências podem acentuar o risco de falsos alarmes. É então importante utilizar estas regras com cautela e adaptar as mesmas consoante a natureza dos processos (J. A. S. Cabral and Guimarães, 2007). A Figura 2 apresenta uma carta $\bar{x}$ com as diferentes partições demarcadas para auxiliar na análise das cartas de controlo.

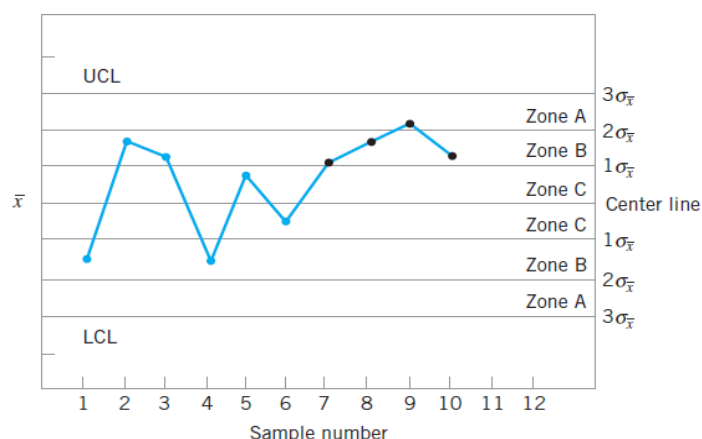


Figura 2 - Zonas de uma carta de controlo (fonte: Montgomery (2009))

2.1.4 Capacidade do processo

A avaliação da capacidade do processo permite detetar e suprimir causas atípicas de variação até culminar no estado de controlo estatístico. Com este estudo procura-se atingir uma uniformidade do processo que é medida através da variabilidade das características CTQ. O

estudo da capacidade do processo assume que os dados seguem uma distribuição normal e que o processo é estável (Wooluru et al., 2014).

Para mensurar quantitativamente a capacidade do processo no curto prazo pode recorrer-se aos índices C_p e C_{pk} . Os índices de capacidade são utilizados na estimativa da capacidade do processo de forma a averiguar se este é capaz de gerar produtos que cumpram as especificações requeridas. Estes indicadores relacionam o desempenho real de um processo com um desempenho específico, onde o processo é a combinação dos equipamentos, métodos, operadores, materiais e sistemas de medição (Oakland, 2007). No que concerne à performance do processo no longo prazo utilizam-se os índices P_p e P_{pk} . Os índices de performance são geralmente utilizados quando o processo não se encontra em controlo (Montgomery, 2009).

O cálculo do C_p tem em consideração a gama de variação das especificações do produto e a variabilidade do processo.

$$C_p = \frac{T}{6 \times \sigma} \quad (2.1)$$

Onde:

T , é a diferença entre os limites superior e inferior especificados pelo processo, e
 σ , é o desvio padrão do processo.

Este rácio desvaloriza a localização da média em relação às especificações do processo, podendo induzir em erro, na medida em que o processo pode apresentar um valor ótimo e este valor não estar de acordo com a tolerância exigida pelo processo. A situação pode ser analisada com maior rigor com recurso ao índice C_{pk} que tem em conta se o processo está centrado (Montgomery, 2009).

$$C_{pk} = \min \left(C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad (2.2)$$

Onde:

USL , é a linha de especificação superior (*Upper Specification Limit*)

LSL , é a linha de especificação inferior (*Lower Specification Limit*)

C_{pu} , é o índice de capacidade do processo apenas para o limite superior de especificação

C_{pl} , é o índice de capacidade do processo apenas para o limite inferior de especificação, e

μ , é o valor médio para todos os subgrupos.

Geralmente, se o valor de C_p iguala o valor de C_{pk} , indica que o processo se encontra centrado nos limites de especificação.

O cálculo do P_p é semelhante ao cálculo do C_p , e a mesma relação de semelhança pode ser verificada entre o P_{pk} e o C_{pk} , sendo a diferença apenas evidenciada pelo estimador do desvio padrão do processo (Rocha et al., 2014).

2.1.5 Capacidade do sistema de medição

Um sistema de medição ineficiente conduz a uma tomada de decisão baseada em informações erradas, representando um impacto negativo considerável na performance. Este sistema é constituído pelo instrumento de medição, pelo operador e pelas condições em que é usado. As calibrações e os *setups* são também fontes de variação no desempenho do sistema de medição (Moheb-Alizadeh, 2014).

Como forma de assegurar que o sistema de medição utilizado reflete de forma precisa a situação atual do processo, é necessário adotar testes de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R). A

repetibilidade traduz-se na variação dos resultados obtidos através da medição de uma mesma característica nas mesmas condições. Já a reprodutibilidade refere-se à média das medições obtidas por diferentes operadores utilizando o mesmo sistema de medição (Pyzdek and Keller, 2003).

Para tal efeito, pode-se considerar a Equação 2.3:

$$\sigma_{sm}^2 = \sigma_{repe}^2 + \sigma_{repro}^2 \quad (2.3)$$

Onde,

σ_{repe}^2 , é a variância devido à repetibilidade, e

σ_{repro}^2 , é a variância devido à reprodutibilidade

Os valores obtidos permitem estimar a capacidade de medição do sistema através do rácio precisão-tolerância (P/T).

$$\frac{P}{T} = \frac{k \times \sigma_{sm}}{USL - LSL} \quad (2.4)$$

Onde,

k, é uma constante que toma o valor de 5,15 ou de 6. k=5,15 corresponde ao valor limite do número de desvios padrão entre limites de intervalos de confiança de 95% que contém pelo menos 99% da população normal; e k=6 equivale ao número de desvios padrão entre os limites de tolerância usuais de uma população normal.

Na maioria das situações, é correto admitir que valores de P/T inferiores a 0,1 sinalizam o instrumento como capaz, não sendo necessário proceder a quaisquer ajustes (Montgomery, 2009).

2.2 Manutenção

Com a crescente automatização dos processos produtivos, o papel da manutenção dos equipamentos no controlo de quantidade, qualidade e custos é progressivamente mais relevante. De modo a garantir o bom funcionamento dos processos, os equipamentos têm que ser mantidos em condições de operação ideais (Ben-Daya and Duffuaa, 1995). De acordo com a norma europeia 13306, a manutenção pode ser descrita como “a combinação de todas as ações de carácter técnico, administrativo ou de gestão, que são aplicadas a um ativo durante o seu ciclo de vida, com o objetivo de reter ou restaurar o mesmo para um estado tal em que este realize a função a que se destina” (CEN, 2001). Pelo avultado impacto que provoca, a capacidade de planear e gerir atividades de manutenção é crucial na gestão efetiva de uma organização.

O foco da manutenção é concretizar os objetivos da produção. Os objetivos da manutenção têm que estar alinhados com os objetivos globais da organização, já que a manutenção impacta a rentabilidade do processo produtivo (J. S. Cabral, 2004). De acordo com Ferreira (1998), a finalidade da manutenção deve resultar da conjugação de vertentes que permeiem toda a organização, desde o nível operacional, para maximizar a disponibilidade e performance dos equipamentos, até ao nível organizacional com o foco no planeamento e políticas de subcontratação, passando também pelo nível socioeconómico focado na redução de custos e na segurança.

2.2.1 Modelos de Gestão da Manutenção

O aumento da complexidade dos equipamentos e dos sistemas conduziu à necessidade de implementar estratégias capazes de aumentar a disponibilidade dos equipamentos, garantindo

sempre a minimização de custos. Para satisfazer estes requisitos, existem diferentes modelos de manutenção que devem ser elegidos consoante os objetivos da empresa.

Nakajima (1988) introduziu o *Total Productive Maintenance* (TPM) como um modelo para aplicar ideais de melhoria contínua à gestão de ativos e de recursos humanos. O TPM é uma metodologia que visa aumentar a disponibilidade dos equipamentos através da manutenção dos mesmos num nível ótimo para reduzir os custos totais do ciclo de vida. Com a adoção do TPM pretende-se minimizar ocorrências que induzam uma redução na produtividade, por intermédio do aperfeiçoamento dos métodos de produção, e da utilização e manutenção dos equipamentos (Chan et al., 2005). Outro objetivo desta metodologia, descrito por Schippers (2001), é reduzir e controlar a variação inerente aos processos. O TPM serve-se de uma filosofia que tem como ideia base sensibilizar, formar e encorajar os operadores para terem as competências necessárias para reduzir as perdas que afetam a produção (Ahuja and Khamba, 2008). Wireman (1991) destacou que a eliminação destas perdas não é responsabilidade de um único departamento, já que a utilização dos equipamentos impacta os diferentes departamentos. O TPM é uma relação sinérgica entre todas as funções organizacionais, sendo, portanto, classificado como uma filosofia operacional. Quando combinado com outros programas de melhoria contínua como o Six Sigma, o TPM é uma metodologia que permite constituir enormes avanços no desempenho das organizações (Pomorski, 2004).

O TPM pressupõe o cálculo do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) que contempla índices de disponibilidade de equipamentos, eficiência e qualidade. Esta ferramenta subentende uma análise detalhada às condições existentes em ambiente fabril a partir da identificação das perdas que afetam cada um dos índices (Nakajima, 1988). As razões mais comuns para a perda de produtividade são devido a avarias, arranques/calibrações, paragens curtas, perdas de velocidade, defeitos no processo e defeitos no arranque. As primeiras duas perdas enumeradas são utilizadas para calcular a disponibilidade do equipamento. A terceira e quarta referem-se a perdas de tempo estando, por isso, associadas à performance do equipamento. Por fim, as últimas duas permitem estimar a taxa de qualidade dos equipamentos (Tsarouhas, 2007).

Apesar de não serem filosofias antagónicas, o *Reliability Centered Maintenance* (RCM) é um modelo que assenta na determinação da combinação de políticas de manutenção capazes de assegurar a capacidade operacional dos equipamentos ao custo mínimo (Yssaad et al., 2014). Através do estudo dos requisitos funcionais dos equipamentos e dos tipos de avarias, assim como dos procedimentos seguidos no momento da análise, é possível construir planos de manutenção personalizados que podem resultar no redesenho dos equipamentos ou dos processos. O desenvolvimento de programas segundo a metodologia RCM é um processo sistemático que assegura que os equipamentos permaneçam em boas condições de funcionamento e, simultaneamente, cumpram os requisitos operacionais (IAEA, 2007).

Uma das etapas cruciais desta metodologia passa pela identificação do componente mais crítico para ser alvo de um estudo mais aprofundado e de estratégias de manutenção mais eficientes (Gupta and Mishra, 2018). O *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) é um procedimento que permite estudar e classificar as potenciais falhas num sistema de acordo com a sua severidade. Esta ferramenta utiliza árvores lógicas de decisão para determinar qual a manutenção mais adequada a cada equipamento. O processo de atribuição das técnicas de manutenção adequadas implica dados de fiabilidade, assim como custos das consequências das falhas e custos das técnicas de manutenção (Moubray, 2001).

2.2.2 Tipos de Manutenção

A literatura existente apresenta uma variedade de designações e modelos de manutenção, existindo discordância entre os diferentes autores. A inexistência de consenso acarreta dificuldades na definição de modelos de manutenção, uma vez que terá sempre críticas associadas.

Segundo J. S. Cabral (2004), a forma mais correta de classificar a manutenção é através da divisão em manutenção planeada e manutenção não-planeada. A Figura 3 apresenta esquematicamente os diferentes tipos de manutenção de equipamentos.

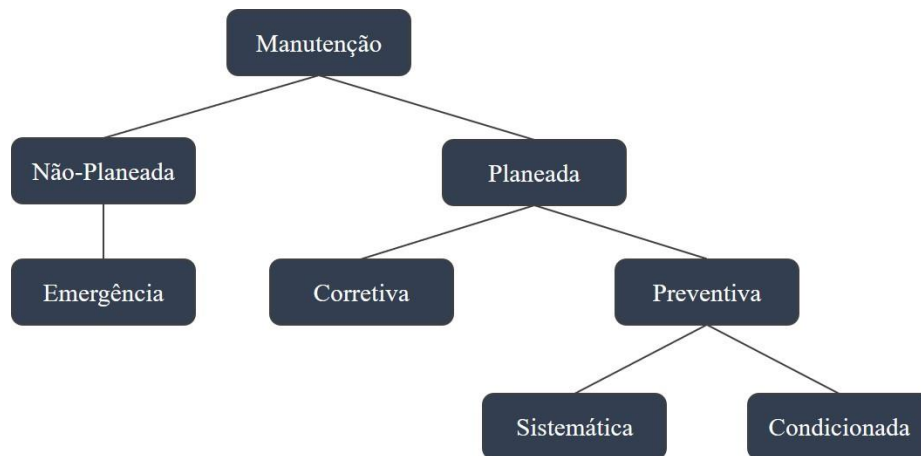


Figura 3 - Fluxograma em árvore dos tipos de manutenção (fonte: adaptado de J. S. Cabral (2004))

A manutenção planeada intenta a redução da probabilidade de ocorrência de avarias. Os trabalhos planeados pressupõem um menor impacto nas operações e diminuem potencialmente os custos envolvidos. Utopicamente, as organizações orientam todos os seus esforços para a manutenção planeada. Contudo, existem avarias inesperadas que não estão sob o controlo do planeamento e a sua execução é determinada pela natureza da situação. Este tipo de manutenção é conhecido como manutenção de emergência (J. S. Cabral, 2004). A teoria prevalecente baseia-se no facto de que, com um aumento da manutenção planeada existe uma redução da manutenção não-planeada, e os custos totais de manutenção decrescem como consequência. A Figura 4 demonstra a curva referente a este *trade-off*.

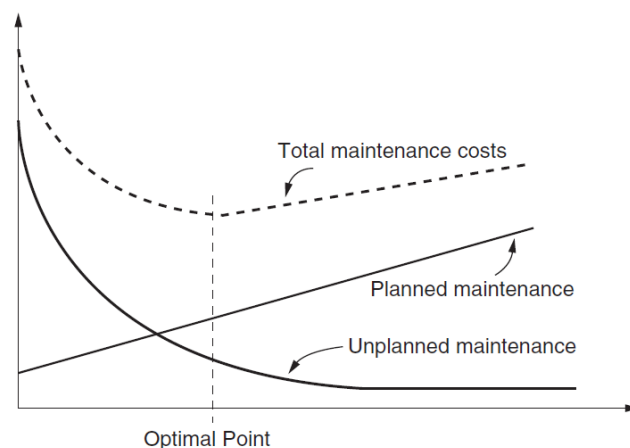


Figura 4 - *Trade-off* entre manutenção planeada e não planeada (fonte: Higgins et al. (2002))

Importa ressaltar que, independentemente da eficácia do planeamento, haverá sempre lugar para manutenção não-planeada devido à ocorrência de falhas intrínsecas ao processo produtivo que são impossíveis de prever.

2.2.3 Planeamento e Avaliação da Manutenção Preventiva

A maioria das reparações é deficientemente planeada devido a condicionalismos de tempo impostos pela produção. Como resultado disso, a utilização de recursos para tarefas de manutenção é mínima. Tipicamente, uma interrupção imprevista ou manutenção reativa incorre em custos três a quatro vezes mais elevados do que se a mesma reparação fosse planeada

(Higgins et al., 2002). Dentro da manutenção planeada, será dada mais ênfase à Manutenção Preventiva (MP) por ser um foco nesta dissertação.

Para se justificar a adoção de tarefas de MP é de notar que existem duas condições necessárias. Deve-se conduzir um estudo do comportamento do equipamento para inferir sobre a taxa de avarias, só sendo justificável proceder a MP se esta taxa for crescente. Do ponto de vista económico, a condição exigida para a aplicação de políticas de MP justifica-se apenas se o custo total da intervenção antes da avaria ocorrer for inferior ao custo total de reparação após a mesma ocorrer (Jardine and Tsang, 2013). A Figura 5 apresenta o volume ótimo de manutenção preventiva tendo em conta os diferentes custos existentes na organização.

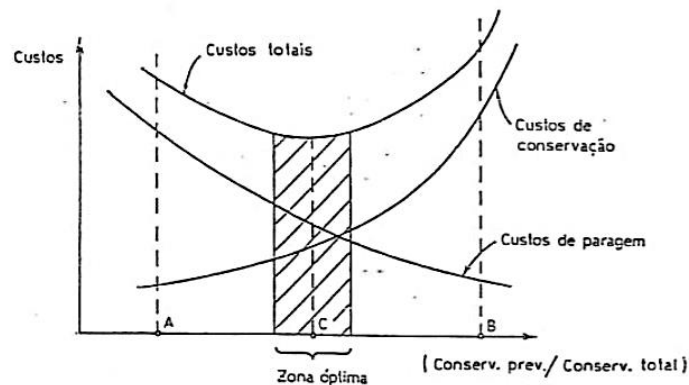


Figura 5 - Volume ótimo de manutenção preventiva (fonte: Vasconcelos (1986))

Um pré-requisito para a MP exige a definição de um *threshold* baseado numa condição ou num intervalo de tempo de modo a que a falha seja evitada (Kahraman and Onar, 2015). Caso a manutenção seja programada em função de intervalos de tempo, estes podem ser determinados com base no calendário ou no tempo total de funcionamento (Alsyouf, 2007). O processo de implementação de manutenção baseada no tempo implica análise de dados de falha. O assinalamento das falhas é acompanhado pela identificação de modos de falha e consequentes sequelas. Para tal, é importante desempenhar um FMEA para cada equipamento (Vilarinho et al., 2017). Liu et al. (2011) definiram esta ferramenta como uma abordagem ascendente e estruturada que começa por modos potenciais de falha conhecidos num subsistema e investiga a sua influência no subsistema subsequente.

Modelos baseados na abordagem de Taguchi (1986) defendem que esse *threshold* deve ser estabelecido com base no número de desvios nas características do produto usadas para medir a qualidade. A manutenção permite reduzir a quantidade de desvios do valor alvo e consequentemente aumentar a qualidade do processo (Nourelfath et al., 2016).

Paralelamente, considera-se essencial que o escalonamento de tarefas seja considerado. O planeamento adequado das funções de manutenção é um processo dinâmico que exige constante revisão. Tal como explicado por Wagner et al. (1964), o escalonamento que vise a alocação dos recursos humanos nas diferentes tarefas de manutenção deve garantir o mínimo de flutuações em cada período e o cumprimento das atividades na base temporal definida. O objetivo do escalonamento não se centra na otimização do balanceamento, mas sim na eficiência da distribuição das tarefas e na sua capacidade de ser adaptável, mantendo os níveis de performance elevados (Madureira et al., 2001).

Diferentes critérios têm sido usados na literatura para avaliar estratégias de manutenção. Moore and Starr (2006) introduziram a criticidade de uma análise baseada no custo como método para priorizar atividades de manutenção em ativos que influenciem a rentabilidade da organização. Em resposta ao crescimento das organizações e à maior interdependência das atividades, surgiram modelos capazes de contemplar três aspetos fundamentais: manutenção, produção e

qualidade (Nourelfath et al., 2016). Atualmente, face à complexidade dos equipamentos existentes, é necessário proceder a estratégias modeladas por restrições de fiabilidade para auxiliar na avaliação do *trade-off* entre a taxa de custos expectáveis com a manutenção e a fiabilidade do sistema (Lee et al., 2019).

2.2.4 Indicadores de manutenção

O desempenho da manutenção é o resultado da utilização eficiente dos recursos para garantir que os equipamentos cumprem a função requerida. Para avaliar a eficácia das ações de manutenção empreendidas e medir as diferenças entre as previsões e os resultados operacionais, pode-se recorrer a indicadores de desempenho (CEN, 2007).

A análise das avarias é fundamental para conhecer os equipamentos. Segundo Pinto (2002), uma avaria pode ser definida como a alteração ou cessação da capacidade de um bem desempenhar uma função predeterminada. Através de uma análise de frequência com que ocorrem as avarias ao longo do seu tempo de funcionamento é possível calcular a taxa de avarias (λ).

$$\lambda = \frac{\text{Número total de avarias}}{\text{Tempo total de funcionamento}} \quad (2.5)$$

Confrontando a taxa de avarias com o tempo, é possível obter a curva de fiabilidade, habitualmente designada por curva da banheira, devido à sua forma geométrica. Através da visualização da Figura 6 é possível reconhecer três regiões.

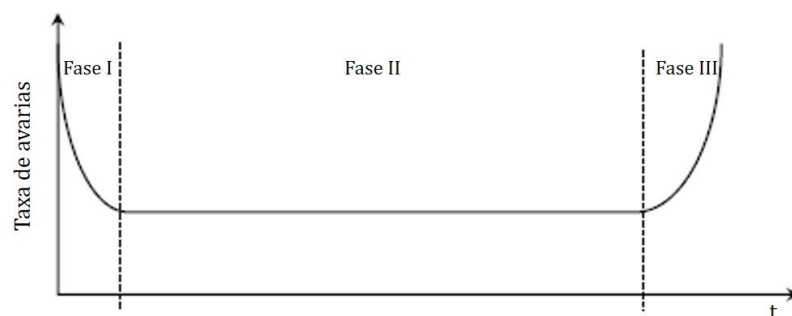


Figura 6 - Curva da banheira (fonte: adaptado de Modarres et al. (2016))

A primeira zona, designada fase de juventude do equipamento, é caracterizada por falhas atribuídas a defeitos no design, manufatura ou construção dos equipamentos. Trata-se de um espaço temporal em que existe uma taxa elevada de avarias inicial que decresce rapidamente, como resultado da adaptação ao ambiente e condições de funcionamento. A região central, denominada por maturidade do equipamento, exibe uma taxa de avarias constante, consequência da ocorrência de falhas aleatórias. A última fase assinala o aproximar do fim do ciclo de vida do equipamento. Nesta região de obsolescência, a taxa de avarias cresce de forma exponencial devido à deterioração e envelhecimento do sistema (Modarres et al., 2016).

A manutenção é decisiva para manter os níveis de disponibilidade e segurança dos sistemas durante todo o seu ciclo de vida. A disponibilidade dos equipamentos é função da fiabilidade e da manutenibilidade (Ferreira, 1998).

A fiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um equipamento executar a função predeterminada sob condições específicas e por um período de tempo pré-definido. Os sistemas reparáveis podem ser caracterizados pelo MTBF (*Mean Time Between Failures*). Esta medida de fiabilidade do equipamento permite deduzir a sua capacidade de funcionar em boas condições durante um determinado período de tempo. É condição necessária para o cálculo

deste indicador o conhecimento da taxa de avarias (λ) do equipamento (O'Connor and Kleyner, 2012).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

A manutenibilidade corresponde à capacidade de um sistema restaurar as suas condições funcionais. O conceito de MTTR (*Mean Time To Repair*) traduz o tempo médio que um equipamento demora a ser reparado. Este indicador engloba também tempos que são considerados não úteis, como o tempo de espera por indisponibilidade de técnicos e paragens para refeição ou outra atividade não relacionada diretamente com o trabalho (Ferreira, 1998).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total das reparações}}{\text{Número total de avarias}} \quad (2.7)$$

Os dois indicadores técnicos de desempenho abordados afetam diretamente a disponibilidade (D). A disponibilidade representa a capacidade de um equipamento assegurar corretamente a sua função durante um tempo previsto. A forma mais frequente de calcular este indicador apresenta-se na Equação 2.8, que corresponde à disponibilidade intrínseca.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.8)$$

Aumentar a disponibilidade de um bem físico implica a redução do número de paragens por avaria, o que se traduz num aumento da fiabilidade aliado à minimização dos tempos necessários à reparação dos equipamentos (Ferreira, 1998).

3 Definição do problema

Neste Capítulo, descreve-se detalhadamente o processo produtivo das embalagens de aerossóis, com particular foco nos componentes em estudo. É ainda apresentada uma análise dos problemas existentes e são expostos os requisitos necessários para a compreensão do projeto.

3.1 Embalagens Metálicas para Aerossóis

Tecnicamente, o aerossol é uma suspensão de partículas sólidas finas ou gotículas líquidas num gás. O termo aerossol refere-se também à embalagem usada para transformar o ingrediente presente dentro do reservatório num aerossol. O aerossol é formado por quatro constituintes: o corpo, a válvula, o atuador e a tampa.

As embalagens para aerossóis podem ser produzidas com materiais ferrosos, como a folha de Flandres ou materiais não-ferrosos, como o alumínio. Na Colep produzem-se embalagens em folha de Flandres de três componentes, constituídas por uma cúpula, um fundo e o corpo. A folha de Flandres é uma chapa de aço fina revestida por estanho em ambas as faces que lhe confere grande robustez. Este material é selecionado para as embalagens de aerossóis especialmente devido à sua capacidade de criar uma barreira à exposição solar e às partículas externas que poderiam conduzir à degradação da formulação contida na embalagem.

A indústria de embalagens de folha de Flandres para aerossóis é caracterizada pelo inúmero controlo a que está sujeita em todas as fases da produção até chegar ao consumidor final. Este controlo deve-se ao facto de as embalagens pressurizadas serem um explosivo. Em resposta a tais requisitos, existem normas legais que têm de ser cumpridas e que são aplicáveis a todos os componentes que constituem um aerossol. No presente trabalho apenas serão consideradas as normas que dizem respeito às cúpulas em embalagens de três componentes. As normas para embalagens de aerossóis de folha de Flandres são definidas pela FEA (*European Aerosol Federation*) e encontram-se presentes no Anexo B. Estas normas incluem metodologias de análise, assim como parâmetros dimensionais e respetivas tolerâncias para os produtos finais e para os componentes que os constituem.

3.2 Processo Produtivo de Aerossóis

Para a compreensão de todas as etapas do processo produtivo, é considerado requisito essencial a correta análise das variáveis em estudo. Através do fluxograma da Figura 7 é possível observar a sequência do processo de fabrico.

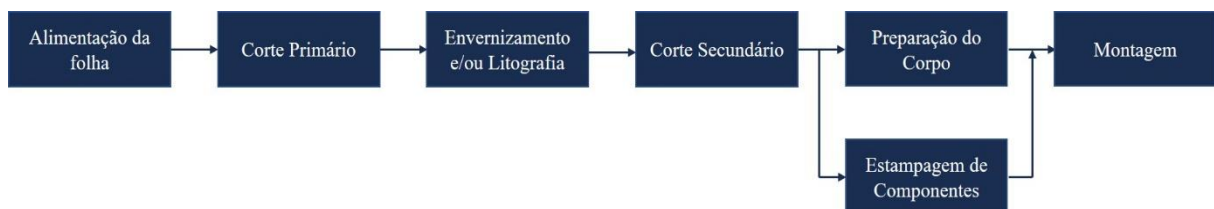


Figura 7 - Fluxograma do processo produtivo

O processo inicia-se pela receção da folha de Flandres enviada pelo fornecedor na forma de bobines (*coils*). Para que a matéria-prima esteja apta para alimentar as linhas de produção, necessita de passar pelo corte principal ou transversal. Nesta primeira etapa, o rolo de aço é cortado em folhas com as mesmas dimensões. Este material segue para a litografia, onde o desenho do corpo da embalagem é impresso nas folhas e é submetido à aplicação de um verniz. Concluída esta fase, as folhas procedem para o corte secundário, onde são cortadas nas dimensões desejadas para o produto final, ficando preparadas para alimentar as linhas produtivas. Nem todas as folhas passam por este processo extenso na litografia. Parte do material sofre apenas um envernizamento e segue para a área de estampagem onde é

transformado em cúpulas e fundos nas diferentes linhas de produção. Ocorrida a produção de componentes, estes são transportados para a área de montagem onde irão ser utilizados para integrar uma embalagem de aerossol. Para perfazer uma embalagem é necessário que as linhas de produção desta área sejam alimentadas pelas restantes folhas provenientes da litografia. Feito o enrolamento da folha e a cravação dos componentes, a embalagem de aerossol está finalizada.

Nas secções seguintes são abordadas com mais pormenor as áreas de estampagem e montagem. O processo de estampagem é explicado mais detalhadamente, visto que foi a área de trabalho do presente projeto.

3.2.1 Estampagem

A área de estampagem de componentes é constituída por 12 linhas, sendo que metade é responsável pela produção de cúpulas e a outra metade pela produção de fundos. Estes componentes apresentam-se na Figura 8.



Figura 8 - Exemplo de um fundo (à esquerda) e de uma cúpula (à direita)

As características dos componentes produzidos em cada linha estão sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos componentes produzidos nas linhas da estampagem de aerossóis

Linha	Componente	Diâmetro (mm)	Aerossol	Cadência (componentes/min)
37	Cúpulas	45	49	280
62	Cúpulas	48	52	280
38	Cúpulas	60	65	280
67	Cúpulas	48	52	280
90	Cúpulas	52	57	140
52	Cúpulas	41	45	140
17	Fundos	43	45	290
3	Fundos	63	65	300
55	Fundos	47	49	300
68	Fundos	54	57	300
15	Fundos	50	52	300
69	Fundos	50	52	300

As linhas de fundos têm um modo de funcionamento muito semelhante entre si. O processo é iniciado pela alimentação manual de folha pelo operador alocado a essa linha. O alimentador de folha conduz a matéria-prima para uma prensa dupla que executa todas as operações que vão dar origem ao formato final do componente. Cada folha permite a extração de várias unidades, sendo que o material que as rodeia, denominado de desperdício técnico, é removido e expulso para um contentor. De seguida, os fundos são direcionados para o orleador, onde é feito o orleado, e são separados em duas vias paralelas iguais. Esta separação deve-se ao facto de que a prensa apresenta uma cadência demasiado elevada em comparação ao processo subsequente. Os fundos são conduzidos para um sistema de aplicação da borracha *wakol* onde esta é aplicada através de um bico em toda a circunferência do componente, com recurso a um mandril. Este equipamento permite que o componente sofra uma rotação de 2,1 voltas de modo a que a borracha seja aplicada uniformemente. As duas vias apresentam diferenças na máquina da borracha, visto que uma delas apresenta lubrificação automática enquanto que a outra requer lubrificação com massa. As linhas 15 e 68 são uma exceção porque ambas apresentam as máquinas da borracha com lubrificação automática. Após a aplicação da borracha, os componentes são submetidos a um sistema de visão onde são rejeitados aqueles que apresentam defeitos na aplicação da borracha. Seguidamente, os componentes são dirigidos para um forno, no qual se procede à cura da borracha. No final desta etapa, o operador acondiciona os fundos em saquetas de papel que permitem uma melhor preservação das características da borracha.

As linhas de cúpulas são mais complexas, apresentando mais diferenças entre si. Estas linhas podem ser divididas em três grupos diferentes consoante a prensa que é utilizada. As linhas 38, 39 e 62 são constituídas por uma prensa BMV, enquanto que a linha 67 apresenta uma prensa *STEINER*. Estas linhas possuem duas pistas à saída da prensa devido à sua alta cadência. Como as linhas 52 e 90 são de baixa cadência, não existe necessidade de duas pistas para os processos seguintes.

Apesar das diferenças apresentadas, a sequência do processo de fabrico das cúpulas é semelhante nas várias linhas. Tal como se verifica na produção de fundos, a alimentação da matéria-prima é feita manualmente pelo operador. Previamente à entrada na primeira operação, as folhas são lubrificadas. A primeira operação consiste no corte simultâneo de duas cúpulas com recurso a uma prensa de ferramenta dupla. Subsequentemente, os componentes são transportados para a prensa onde vão sofrer oito alterações distintas de modo a obter a forma final desejada. Destaca-se a complexidade da geometria das cúpulas comparativamente aos fundos, o que exige um maior número de passos de prensagem. Estes passos ocorrem sequencialmente com o auxílio de uma barra de pinças. Como as pinças têm a forma pretendida da cúpula em cada etapa, estas são estáticas movendo apenas as cúpulas de uma operação para a outra. Devido à geometria destes componentes, uma das operações consiste no corte interior da cúpula para formar o diâmetro interno, o que exige um saca-retalhos associado para permitir a saída do desperdício técnico. Importa referir que o processo na linha 67 é ligeiramente mais complexo, visto que o alimentador é separado dos restantes equipamentos da linha e é aí que é executada a primeira operação de corte e prensagem. Finalizada a etapa de prensagem, o processo é idêntico àquele que foi descrito nos fundos.

A análise do processo produtivo permite identificar a existência de diversas causas de variabilidade que conduzem ao não cumprimento das especificações e ao aumento da produção de sucata. Torna-se então crucial estudar estas ocorrências e contrariá-las a fim de se obter um maior controlo do processo.

3.2.2 Montagem

Finalizada a produção dos diferentes componentes, realiza-se sua montagem para dar origem ao produto final. Este processo é semelhante para todas as embalagens de aerossol.

O processo inicia-se pela alimentação manual da folha retangular cortada e litografada, que é depois enrolada na forma cilíndrica e soldada com fio de cobre. Procede-se ao envernizamento exterior da costura da soldadura para evitar a sua oxidação e à aplicação de cola na parte interior. Os corpos passam depois por um forno para polimerizar a cola. A fase seguinte consiste na junção dos outros componentes ao corpo. O primeiro passo é criar uma abertura na parte superior e na parte inferior do corpo para realizar as operações seguintes. O fundo e a cúpula são alinhados com o corpo e cravados no mesmo. Esta operação é realizada em duas etapas – 1º passe e 2º passe - com recurso a uma cravação dupla que impossibilita fugas através destas ligações. Como se pode observar na Figura 9, o 1º passe consiste na formação do enrolamento do componente debaixo da beira de cravação do corpo através da passagem de um rolo. O 2º passe finaliza a cravação com o esmagamento de todas as espessuras da folha até que a cravação fique hermética (resultado de um aperto correto).

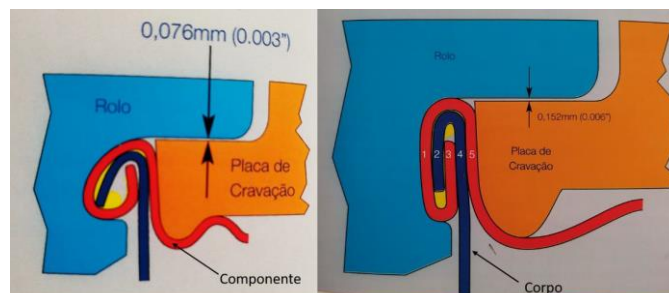


Figura 9 - Cravação dupla: 1º passe à esquerda e 2º passe à direita (fonte: Burton (2005))

Terminada esta fase, a embalagem adquire a forma final e é submetida a um teste de estanquidade. Através de diferenciais de pressão, é possível aferir a existência de eventuais fugas. Caso não se registem anomalias, a embalagem de aerossol vazia segue até ao paletizador e está pronta como produto final.

3.3 Plano de Inspeção e Ensaio

Em todas as linhas existe um plano de inspeção de qualidade para garantir que os componentes produzidos estão a seguir as especificações estabelecidas. Um exemplo de um plano de inspeção para os fundos BT 50 encontra-se no Anexo C. Os operadores têm de realizar diferentes tipos de controlo de forma a garantir que a produção está a cumprir os requisitos necessários. Existe o controlo dimensional que incide na medição de especificações classificadas como críticas. Por outro lado, o controlo visual permite verificar a existência de riscos, sujidade, amolgadelas, poros ou qualquer outra não conformidade visível a olho nu. Adicionalmente, existem ainda controlos de deformação, de rebentamento e de porosidade. O controlo mais frequente é o peso da borracha que será o principal foco desta dissertação.

O controlo do peso da borracha é reforçado por uma rotina de qualidade. Esta tarefa está alocada a um colaborador que tem a responsabilidade de fazer os diversos tipos de controlo em todas as linhas de cúpulas e fundos. Este registo é feito numa folha como a que se apresenta no Anexo D. Concluído o controlo nas diferentes linhas, o operador é responsável por introduzir os valores numa folha de Excel (esta ferramenta será alvo de análise e melhoria numa fase posterior do projeto). As rotinas de qualidade destinam-se a combater a variabilidade associada ao operador que as realiza. Esta prática viabiliza um maior cumprimento das especificações desejadas

Controlo do peso da borracha

O peso da borracha é uma especificação crítica e tem duas variantes: peso húmido e peso seco. Para se fazer o controlo desta especificação, seleccionam-se cinco componentes na etapa anterior à aplicação da borracha. É feito o registo do peso destes componentes e, com base em marcações, são acompanhados ao longo do processo. Esta mesma amostra volta a ser pesada imediatamente após a aplicação da borracha. A diferença entre as duas medições é o peso húmido da borracha. Tal como já foi explicado, os componentes são submetidos a um forno que permite realizar a cura da borracha. Os cinco componentes assinalados voltam a ser pesados e a subtração deste valor pelo valor obtido na primeira pesagem é o peso seco da borracha.

Cada diâmetro dos componentes apresenta um valor mínimo e um valor máximo do peso de borracha antes e após a cura. Os valores obtidos nas pesagens têm que estar compreendidos dentro destas especificações. Se não estiverem, o operador tem que sinalizar esta situação aos supervisores da área para que se proceda à verificação da existência de alguma anomalia no processo de aplicação de borracha.

3.4 Histórico dos Registos de Inspeção

A quantidade de borracha aplicada em cada componente e as falhas associadas a este processo são um fator crítico para atingir a qualidade desejada no produto final. Existindo conhecimento da instabilidade associada a este processo, procurou-se estudar a variabilidade do peso húmido e do peso seco do vedante.

Para obter um correto entendimento do problema existente, tomou-se como melhor prática analisar em particular uma linha de produção de cúpulas e uma de fundos. Através do ERP SAP, sistema de informação utilizado pela Colep, foi possível retirar informações relativamente à quantidade de aerossóis produzida em 2019. Como é possível concluir através da análise do diagrama de Pareto da Figura 10, o aerossol 52 é o mais produzido, correspondendo a um total de 40% da produção total.

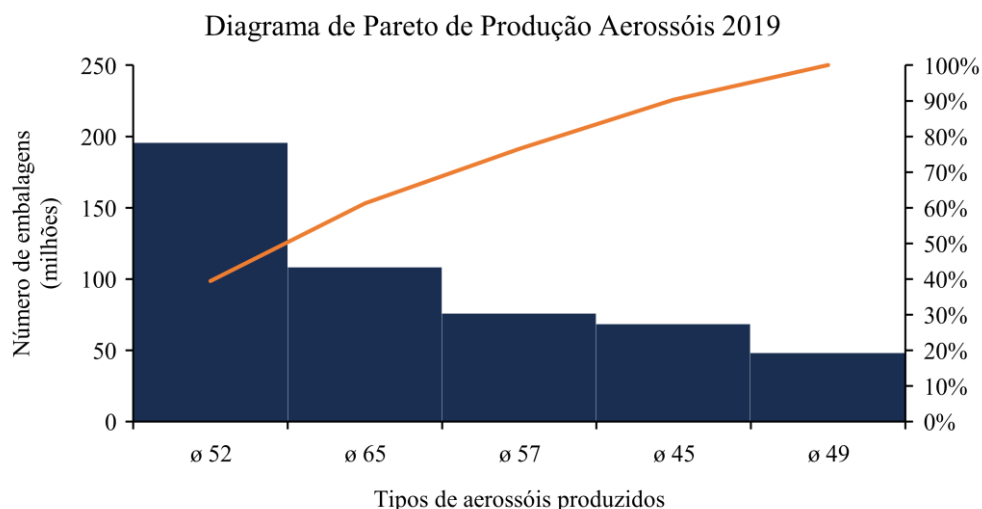


Figura 10 - Diagrama de Pareto para a produção de aerossóis em 2019

Por essa razão, optou-se por analisar linhas que produzissem componentes para este aerossol. Tal como já foi referido anteriormente, os componentes que constituem este aerossol são as cúpulas 48 (TP 48), produzidas nas linhas 62 e 67, e os fundos 50 (BT 50), produzidos nas linhas 15 e 69. A linha 62 de cúpulas foi escolhida, visto que foi recentemente alvo de uma intervenção de manutenção robusta. Para os fundos, as linhas são exatamente iguais, contudo existem mais registos da linha 69, razão pela qual esta linha foi a seleccionada.

Antes de conduzir uma análise quantitativa, foi necessário definir o período temporal a ter em consideração. Após pesquisar no arquivo dos mapas de registo de controlo e produção da área de estampagem, verificou-se uma mudança neste documento. No primeiro quadrimestre do ano de 2019, os operadores anotavam o peso da borracha húmido e o peso seco. Contudo, a alteração sofrida exigiu que apenas o peso húmido fosse registado. Para o estudo em causa, é fundamental conhecer ambas as variáveis. Validou-se então que os três primeiros meses do ano de 2019 constituiriam o intervalo de tempo escolhido.

Após validar as linhas piloto e o intervalo de tempo a estudar, procedeu-se a uma análise preliminar para avaliar a presente situação. Através dos dados obtidos pelos registos efetuados pela produção, foi possível obter informações relativamente aos valores do peso da borracha. Como se pode constatar pela Figura 11, existe uma quantidade significativa de componentes cuja porção de borracha aplicada não respeita as especificações definidas. Estas observações sugerem que o processo é instável, não sendo capaz de garantir a conformidade do filme de borracha.

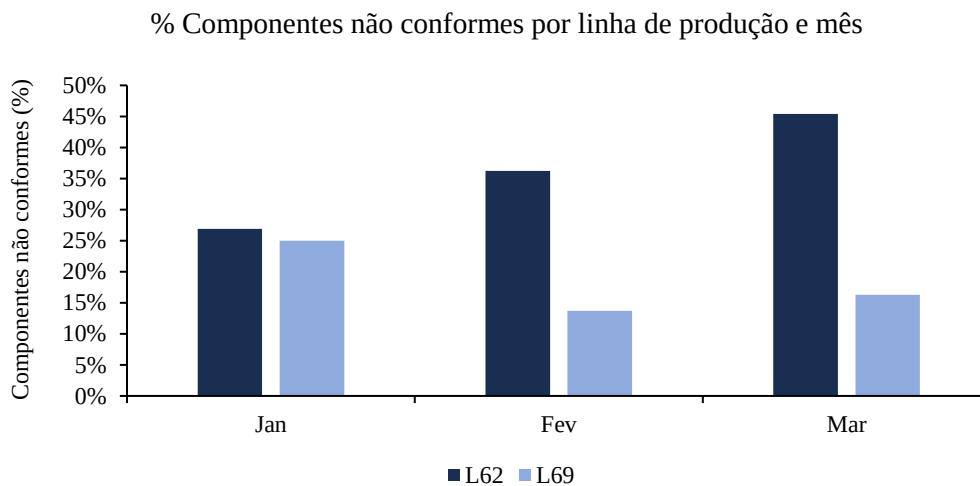


Figura 11 - Percentagem de componentes não conformes por linha de produção e mês

3.5 Histórico das Manutenções Preventivas

A análise ao cenário vigente das manutenções preventivas revela dificuldades a nível de planeamento, programação e controlo. Atualmente, as manutenções preventivas encontram-se especificadas em SAP. Cada linha apresenta uma listagem dos equipamentos principais que a constituem e, a cada equipamento, estão associadas as manutenções planeadas e aquelas que já foram cumpridas. A cada uma das atividades de manutenção está acoplada uma lista de tarefas a realizar, assim como a periodicidade com que devem ser efetuadas. A periodicidade é definida apenas com base no calendário. Esta calendarização é uma das maiores dificuldades associada aos planos atuais. Os intervalos de tempo determinados não têm consideração o tempo que as linhas estão efetivamente a produzir. Para além disso, a periodicidade foi definida aquando da implementação destes equipamentos na produção. Devido a alterações posteriores, estas periodicidades não vão de encontro às necessidades atuais. Este problema tem também como causa a inexistência de dados que permitam fornecer indicadores fiáveis sobre a realidade dos equipamentos.

Com base numa análise pormenorizada dos planos de MP existentes, foi possível concluir que as tarefas não são concordantes com os equipamentos que as linhas apresentam. Os planos das diferentes linhas são semelhantes entre si, não respeitando os equipamentos que efetivamente as compõem. Como resultado, a equipa de manutenção não é dependente das ordens emitidas pelo sistema de informação. Estes profissionais têm um conhecimento técnico muito elevado, pelo que realizam as manutenções com base no seu conhecimento empírico. Dada a conjuntura

atual, existe uma conduta de ação reativa que tem uma maior tendência para resolver os problemas ao invés de evitar a ocorrência dos mesmos. Apesar de ser inexecutável o desenvolvimento de uma análise quantitativa que permita comparar o tempo despendido em ações preventivas em contraste com as ações corretivas, procedeu-se a um estudo que permitiu comparar os custos envolvidos em cada tipo de manutenção. Na Figura 12, é possível observar os custos das atividades de manutenção para a linha 62 e para a linha 69 em 2019.

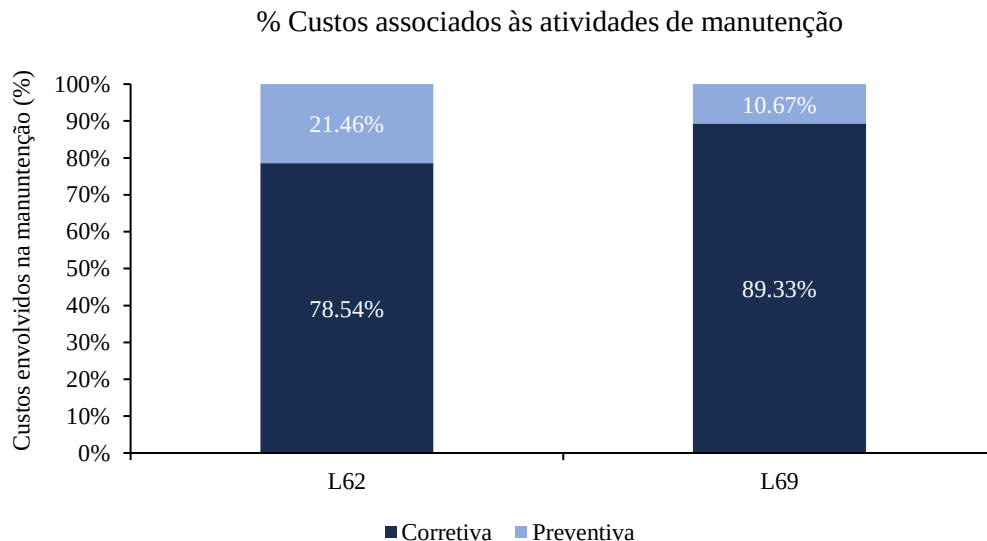


Figura 12 - Percentagem dos custos associados às atividades de manutenção

Observando a Figura 12, é evidente a proporção reduzida dos custos envolvidos em atividades de MP comparativamente às atividades de manutenção corretiva (MC). De salientar que, apesar dos custos associados às manutenções corretivas serem tendencialmente mais elevados, a diferença na ordem de grandeza dos dois tipos de intervenções não é significativa para justificar o peso percentual que as atividades corretivas apresentam. Este resultado é igualmente constatado nas restantes linhas produtivas, tal como é possível verificar no Anexo E. A discrepância observada é parcialmente atribuída às inúmeras tarefas presentes nos planos de MP que não são passíveis de ser realizadas. Os técnicos não têm capacidade de responder a todas as ordens de MP que são emitidas, priorizando as que consideram mais urgentes ou os equipamentos que se encontrarem num estado mais crítico. Esta estratégia mostra-se ser contraproducente e conduz a uma maior necessidade de agir corretivamente para recuperar o bom funcionamento dos equipamentos.

Outro problema detetado assenta na falta de documentação atualizada capaz de traduzir a realidade dos equipamentos. Esta informação incompleta revela-se como sendo um obstáculo para delinear procedimentos normalizados para intervenções de manutenção. Não existe uma preocupação evidente para registar os modos de atuar perante as diferentes avarias que ocorrem. O principal objetivo é reparar os equipamentos para que não existam discontinuidades no processo. Como consequência, não existe um fluxo definido que permita assinalar a razão da avaria e o modo de atuar perante a mesma.

As linhas de produção possuem diferentes equipamentos, sendo cada um responsável por uma etapa no fabrico dos componentes. Através da análise da Figura 13 e da Figura 14 é possível verificar quais os equipamentos responsáveis por um maior número de paragens na linha 62 e 69, respetivamente, no ano de 2019.

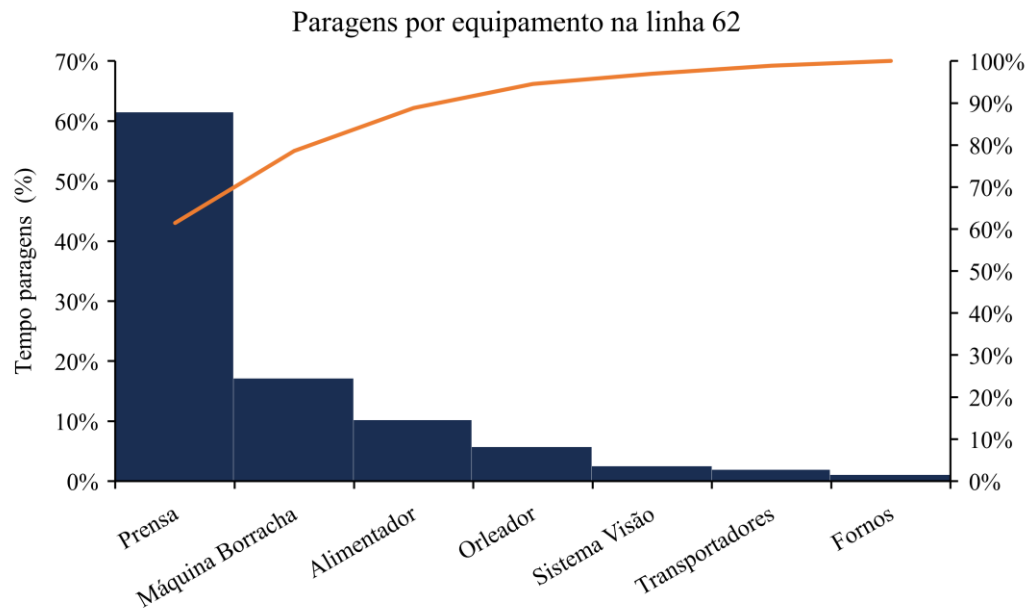


Figura 13 - Paragens por equipamento na linha 62 em 2019

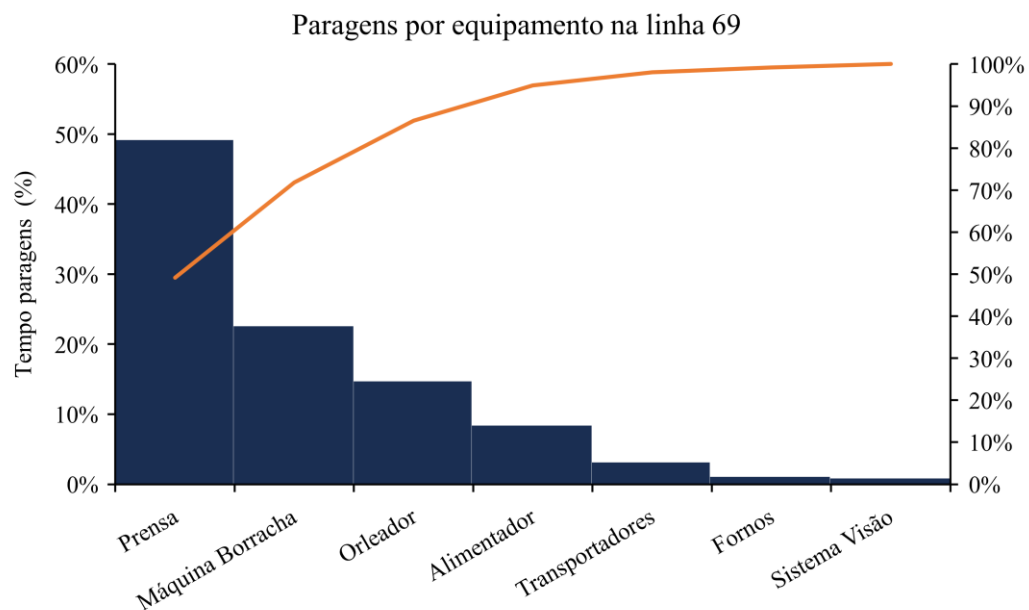


Figura 14 - Paragens por equipamento na linha 69 em 2019

Tal como era expectável, em ambas as linhas, o maior número de interrupções registado está associado à prensa. Este equipamento é responsável pela conformação dos componentes. A complexidade deste processo resulta numa maior probabilidade de ocorrência de avarias de diferente natureza, sendo que o maior peso é atribuído às operações realizadas por cada um dos cunhos. A velocidade com que estas tarefas são realizadas e o grau de precisão necessário para as executar corretamente conduzem à ocorrência recorrente de encravamentos. Para além disso, após analisar os planos de MP vigentes, denotou-se o desleixo nas ações que envolvem os cunhos. Estas tarefas envolvem a paragem da linha produtiva na totalidade e a remoção da ferramenta. Devido ao trabalho envolvido e ao tempo necessário para as completar, a tendência observada é adiar as tarefas, o que provoca complicações no bom funcionamento do processo. As paragens na prensa podem ser também atribuídas a problemas a expelir o desperdício técnico originado nas operações de corte.

Em segundo lugar, pode-se verificar que a máquina de aplicação de borracha é o equipamento responsável por uma maior percentagem de paragens. As paragens associadas a esta operação são maioritariamente devido à incorreta deposição do vedante, no que concerne à quantidade e à qualidade. Estas paragens serão abordadas posteriormente com um maior nível de detalhe. Apesar de não serem referidos, os restantes equipamentos foram também estudados, ainda que menos aprofundadamente, para possibilitar uma correta elaboração de novos planos de MP.

3.6 Definição dos elementos de estudo

Face à crescente competitividade existente no mercado, a procura pela qualidade constitui uma oportunidade para a empresa se destacar e fidelizar o consumidor. A empresa apresenta instabilidade no processo produtivo consequente de problemas procedentes de duas vertentes diferentes.

Os problemas associados à incorreta aplicação de borracha nos componentes são uma constante na empresa que impedem o alcance dos resultados pretendidos. Os defeitos relacionados com a borracha apresentam-se como um dos maiores responsáveis do aumento da sucata, que influencia negativamente o OEE. Para averiguar a origem das anomalias associadas ao vedante, foram selecionadas duas linhas de produção, uma de cúpulas e outra de fundos, consideradas como sendo as mais representativas do problema. Pretende-se investigar possíveis fontes de variação, assim como proceder a um estudo da capacidade do processo. Para tal, considera-se pertinente estudar o processo produtivo e as respetivas operações, de modo a perceber o impacto de cada fator na qualidade do produto final. O procedimento seguido é baseado na metodologia DMAIC.

Um dos fatores considerados como preponderantes no desempenho do processo diz respeito aos equipamentos que o integram, em particular à máquina de aplicação da borracha, sendo um dos equipamentos que lidera o número de falhas registadas. A deficiente organização no que diz respeito às intervenções de manutenção suscita um aumento da produção de componentes não conformes. Por conseguinte, conduz a uma deposição incorreta do vedante nos componentes que não respeita as normas de qualidade. Importa ainda frisar a cultura reativa na empresa que realça a predominância das atividades de MC sobre as atividades de MP. Considera-se então importante estudar a atual organização e distribuição das diferentes atividades de manutenção.

4 Análise do problema

No presente Capítulo, são apresentados pormenorizadamente os problemas expostos para uma correta compreensão da sua complexidade. Para isto, é feita uma caracterização da situação atual nos diferentes campos de atuação, assim como uma análise com base no histórico de dados.

4.1 Fatores potenciais de variabilidade

A variabilidade é inerente a todos os processos produtivos. A análise da variabilidade deve ser usada como base para ações de melhoria. Para tal, é necessário conduzir uma análise preliminar aos fatores que podem introduzir alterações ao processo.

4.1.1 Estudo do processo produtivo

Para identificar as possíveis causas de variação nas linhas em estudo que tivessem impacto na quantidade de borracha aplicada nos componentes, foi construído o diagrama de *Ishikawa*, presente na Figura 15.

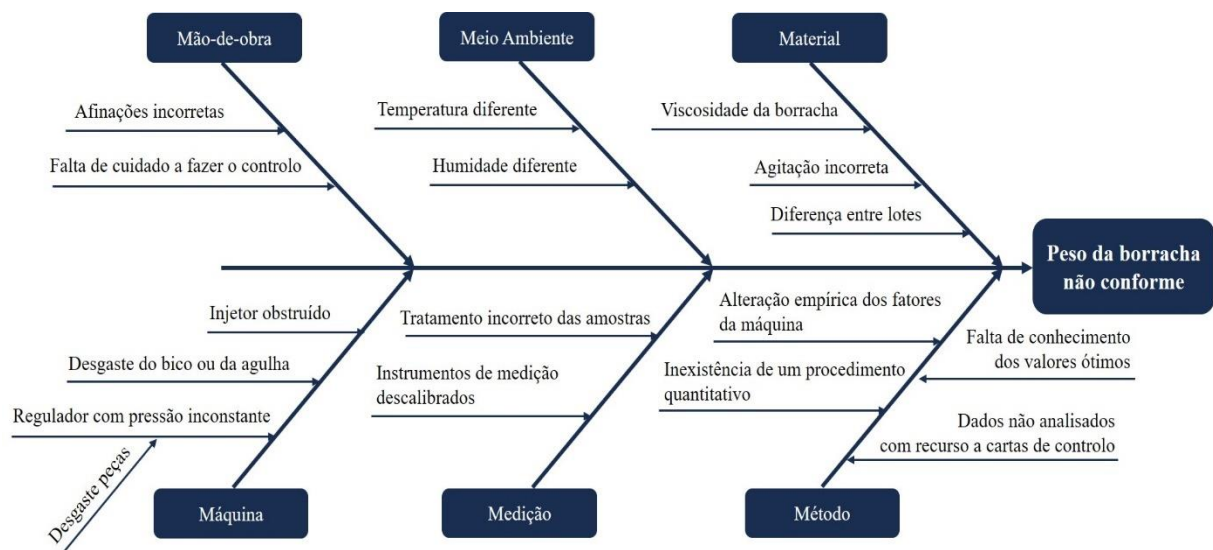


Figura 15 - Diagrama de *Ishikawa*

A Figura 15 permite analisar os fatores que influenciam o processo e agrupá-los em seis categorias. No que diz respeito à mão-de-obra, a sobrecarga de trabalhos, consequente da alta cadência que caracteriza as linhas produtivas, conduz à falta de cuidado ou supressão do controlo do peso da borracha. Pode também existir desmazelo nas afinações realizadas pelos operadores, o que leva à recorrência do mesmo problema até ser realizada uma intervenção conveniente. Os problemas associados à máquina são uma das causas mais prováveis para a inconsistência registada. A máquina de aplicar a borracha é constituída por diferentes componentes que sofrem um desgaste rápido devido à exigência do processo. O meio ambiente também pode influenciar a veracidade dos valores de peso. Esta variável influencia o material que apresenta alguma variabilidade inerente, principalmente no que diz respeito à viscosidade. Atentando no método existente para controlar as características em estudo, o controlo é apenas qualitativo, impedindo a visualização de tendências ou padrões. Os dados registados não são utilizados para análise estatística baseada em cartas de controlo. Estes fatores podem ser agravados por um tratamento inadequado das amostras ou por instrumentos de medição não calibrados.

Da análise às causas raiz assinaladas, pode-se argumentar que os fatores críticos mais relevantes são motivados pela pouca eficiência dos planos de MP em vigor e pela falta de um controlo do

processo capaz de detetar variações significativas no momento da ocorrência, potenciando a produção de produtos não conformes até ser sinalizada uma anomalia no processo.

4.1.2 Estudo da capacidade do sistema de medição

De forma a verificar a variabilidade dos sistemas de medição existentes, foi feito um estudo de capacidade de medição. A empresa possui dois instrumentos de medição capazes de satisfazer as necessidades do controlo de processo realizado na secção de estampagem de aerossóis. Junto das linhas de produção é possível encontrar uma balança que é regularmente utilizada pelos operadores para realizarem as pesagens. A outra balança está localizada no laboratório onde são realizados os testes de deformação.

Para investigar a variabilidade decursiva de problemas associados aos sistemas de medição e/ou na metodologia da pesagem, foram realizados estudos de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R). Foram efetuadas pesagens a 5 componentes sem borracha por 3 operadores diferentes e, como forma de eliminar fontes de erro, assegurou-se a aleatoriedade das medições e 3 réplicas de cada fator em análise. De referir que o procedimento foi semelhante para ambas as balanças, sendo que o único fator variável foi o próprio instrumento de medição. O resultado das medições encontra-se no Anexo F. Os estudos foram executados com o programa *Minitab*. Os resultados podem ser visualizados na Figura 16 e no Anexo G para a balança existente nas linhas e para a balança do laboratório, respetivamente. As seguintes ilações foram retiradas com base no estudo realizado.

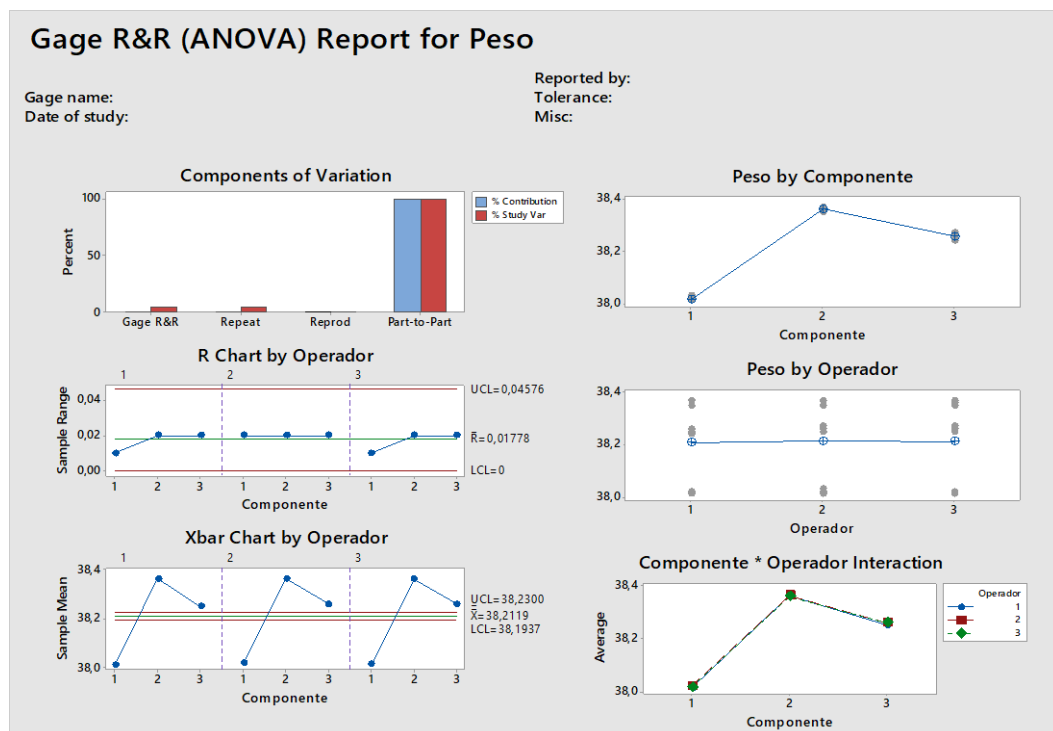


Figura 16 - Estudo R&R para a balança das linhas de produção

Considerando as medições obtidas com recurso à balança presente no chão de fábrica, não se registou a existência de quaisquer variações no que diz respeito à reprodutibilidade. A repetibilidade verificada é de apenas 0,26%. Isto significa que a variação nas medições é quase exclusiva às diferenças existentes entre os componentes. Esta alta percentagem de contribuição permite deduzir que o sistema consegue distinguir os componentes com sucesso. Ao comparar a variação do instrumento de medição com a variação total, a percentagem de variação é de, aproximadamente, 5,12%.

No que diz respeito às medições realizadas utilizando a balança do laboratório, obtiveram-se conclusões semelhantes. A reprodutibilidade assume um valor nulo e a repetibilidade é de apenas 0,08%. Como se verifica para o outro instrumento de medição, a variação nas medições é devida aos componentes. A percentagem de variação do sistema de medição em comparação com a variação total é de cerca de 2,86%. Importa referir que, tanto para esta balança como para a balança do chão de fábrica, os valores de P/T são inferiores a 0,1, o que indica que os instrumentos de medição são precisos.

Tal como se constatou, ambas as experiências apresentaram um valor nulo de reprodutibilidade. Esta conclusão era expectável, dado que, observando o *modus operandi* do procedimento, foi possível verificar que é um processo simples que não está sujeito a variabilidade associada ao operador que o realiza. Ambos os instrumentos apresentaram variações, ainda que mínimas, no que diz respeito à repetibilidade, consequentes da incerteza inerente aos próprios sistemas. Contudo, de acordo com as diretrizes do AIAG², uma vez que, para ambas as balanças, a percentagem de variação é inferior a 10%, os sistemas de medição podem ser considerados aceitáveis.

4.2 Análise exploratória

O principal objeto de estudo desta dissertação foca-se na quantidade de borracha aplicada nos componentes. Para um correto controlo da qualidade é necessário proceder à medição e consequente análise do peso da borracha após aplicação e após cura. Com base no histórico dos registos de produção do ano de 2019, foi possível perceber a percentagem de componentes que não apresentaram a quantidade desejada de vedante após cada uma das fases mencionadas, como se pode constatar pela Figura 17.

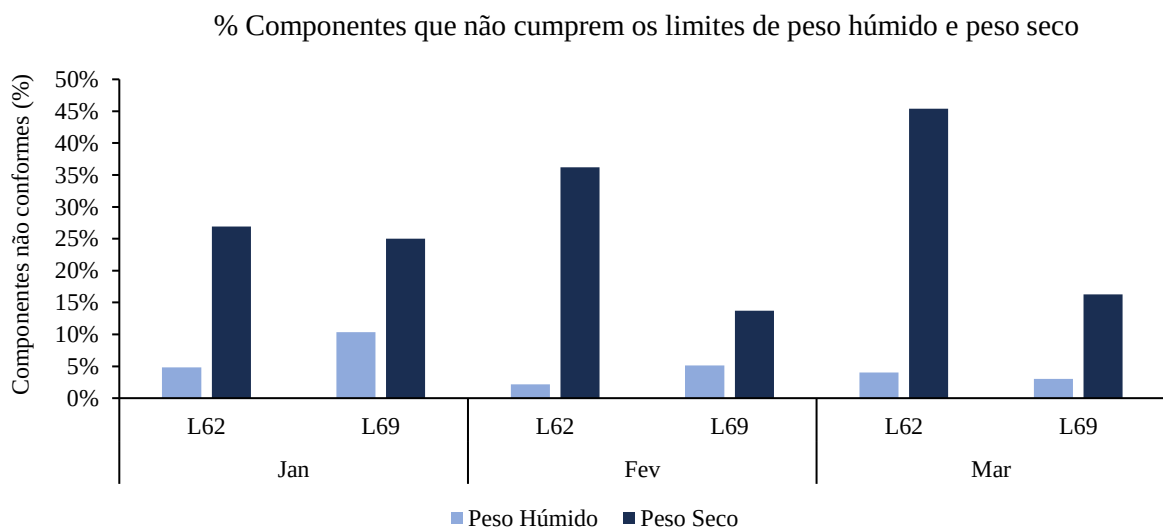


Figura 17 - Percentagem de componentes que não cumprem os limites de peso húmido e peso seco

Tal como é possível observar através do histórico de dados, em média, apenas 5% dos valores de peso húmido se encontram fora das especificações definidas. Contudo, o mesmo não se pode verificar nos registos de peso seco, já que 27% dos produtos resultantes da produção não são conformes. A falta de coerência entre os resultados obtidos na análise instigou uma investigação a ambas as variáveis, separadamente. Para isso, procedeu-se ao estudo do peso húmido e do

² O Automotive Industry Action Group (AIAG) é uma organização que providencia um fórum para as empresas de todo o mundo desenvolverem e partilharem informações que contribuam para orientações e métodos de melhoria de processos de diversos setores.

peso seco para analisar se o processo se encontra em controlo estatístico e determinar a respetiva capacidade.

Para obter amostragens para a análise de dados, recolheram-se 10 amostras de tamanho $N=5$ após aplicação do vedante e, novamente, após a passagem no forno, para cada uma das linhas em análise. De realçar que, para a linha de fundos, esta recolha foi feita para cada um dos segmentos da linha com o intuito de verificar a existência de diferenças significativas entre os dois. Durante a recolha, procurou-se eliminar outras causas de variabilidade que tivessem influência no processo. Assim, garantiu-se que as amostras recolhidas tinham o mesmo revestimento e que não eram caracterizadas por defeitos associados ao fabrico do próprio componente. Com isto, pretendeu-se assegurar que quaisquer variações verificadas eram causadas pela aplicação de vedante. Apesar de ambos os instrumentos de medição terem sido considerados capazes, optou-se por utilizar a balança do laboratório por ter atingido resultados ligeiramente melhores e por se encontrar num ambiente mais controlado.

4.2.1 Controlo estatístico do processo na linha 62

Como foi referido anteriormente, a empresa apresenta limites estabelecidos para a quantidade de borracha aplicada. No que diz respeito aos componentes produzidos na linha 62, se o peso húmido estiver compreendido no intervalo $[0,33; 0,42]$ g atinge-se o valor considerado como sendo o ideal. No que diz respeito ao peso seco, apesar de não ser prática comum o seu registo na produção, o valor deve estar contido no intervalo $[0,24; 0,31]$ g.

Depois de concluída a recolha das amostras supramencionada, verificou-se o tipo de distribuição seguida pelos dados. Após garantir que seguiam uma distribuição normal ($p\text{-value} > 0,05$), realizaram-se cartas de controlo e estudou-se a capacidade do processo da linha de produção. Elegeram-se as cartas $\bar{x}$ para as médias dos subgrupos e as cartas R para as amplitudes dos subgrupos. A razão desta escolha é sustentada pela necessidade de avaliar a estabilidade do valor esperado do processo e a sua variabilidade ao longo do período de teste. O estudo realizado consta na Figura 18 e foi conduzido com recurso ao *Minitab*.

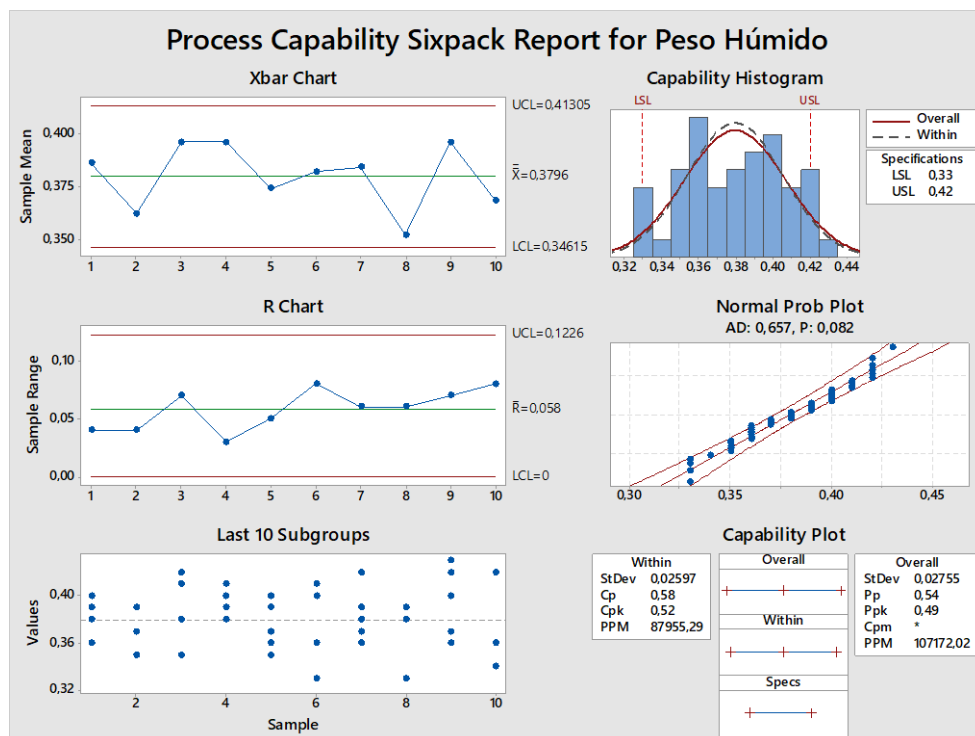


Figura 18 - Carta de controlo $\bar{x}$.R e análise de capacidade para o peso húmido na linha 62

Analisando a Figura 18 e atentando na carta de controlo $\bar{x}$.R, pode-se concluir que o processo produtivo é estável em termos de variabilidade. Esta afirmação é fundamentada nas regras definidas no subcapítulo 2.1.4, já que a carta de controlo R não apresenta nenhum padrão ou tendência visível nem nenhum ponto fora dos limites de controlo. Posto isto, é possível proceder à análise da carta $\bar{x}$ que também respeita as regras estipuladas, pelo que se pode concluir que o processo é estatisticamente estável. Com esta ilação pode-se considerar que o valor da capacidade do processo é verdadeiro. Através da observação da similaridade entre o C_p e o C_{pk} e entre o P_p e o P_{pk} , é possível inferir que o processo se encontra *on target*. Importa ainda referenciar que o C_{pk} e o P_{pk} são inferiores ao valor de *benchmark* (1,33), o que implica que o processo não é capaz. Esta conclusão é indicativa da necessidade de desenvolver melhorias para elevar o seu valor.

Em paralelo, repetiu-se o mesmo procedimento para analisar o peso seco, estando representado na Figura 19.

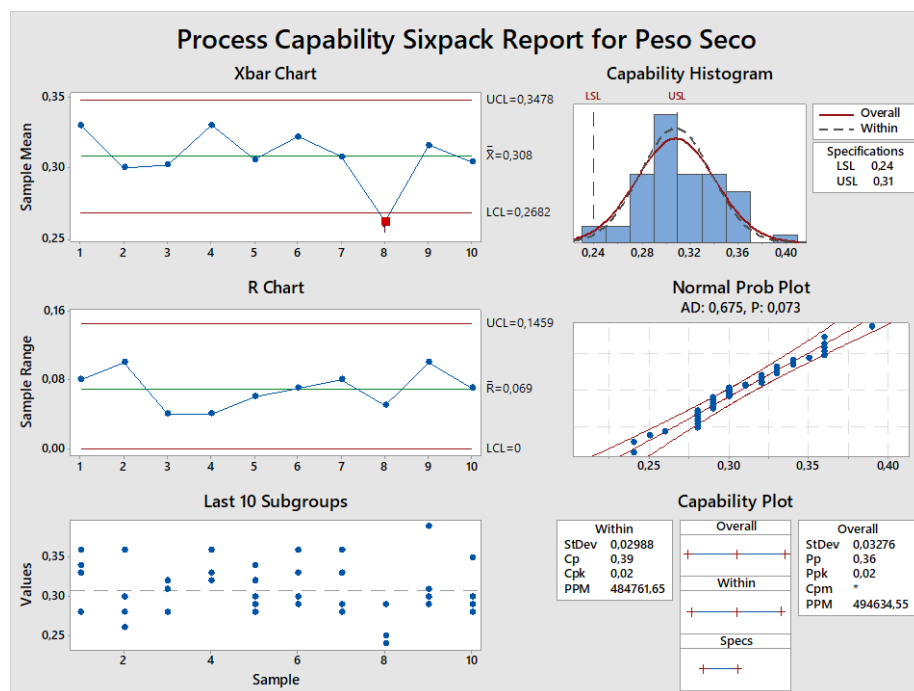


Figura 19 - Carta de controlo $\bar{x}$.R e análise de capacidade para o peso seco na linha 62

Importa realçar que as amostras utilizadas para este estudo foram as mesmas que foram usadas na análise transata com a diferença de terem sido submetidas à cura da borracha. Replicando o raciocínio previamente seguido e analisando a carta R, o processo produtivo é novamente considerado estável no que diz respeito à variabilidade. Contudo, a observação da carta $\bar{x}$ indica que o processo não se encontra em controlo estatístico devido à existência de pontos fora dos limites de controlo. Como o processo não é estável, o valor da capacidade de processo carece de significado, sendo apenas uma representação do valor que o processo poderia alcançar, caso estivesse em controlo. Tal como se verificou na análise antecedente, o índice de P_p é menor do que o valor de referência de 1,33, o que revela que o processo não é capaz devido à variação entre subgrupos. Para além disso, o baixo valor de P_{pk} (0,02) mostra que o processo está distante de atingir o objetivo. Na eventualidade das causas especiais de variação serem eliminadas, o valor de C_p é de apenas 0,39, o que não é satisfatório e evidencia a necessidade de implementar medidas que se traduzam num aumento deste valor.

A análise do histograma ilustra a predominância dos valores acima dos limites de especificação, o que significa que os componentes estão a terminar esta etapa do processo produtivo com um excedente de vedante que, muito possivelmente, traz complicações na fase da montagem.

4.2.2 Controlo estatístico do processo na linha 69

Para a linha 69, o procedimento foi semelhante ao da linha 62. A única diferença prende-se com o facto de ser necessário repetir o método para ambos os segmentos da linha. A Figura 20 apresenta o resumo das análises das cartas de controlo para as variáveis em estudo.

	Segmento Esquerdo					Segmento Direito				
	Controlado?	C_p	C_{pk}	P_p	P_{pk}	Controlado?	C_p	C_{pk}	P_p	P_{pk}
Peso Húmido	Sim	0,68	0,56	0,58	0,48	Sim	0,80	0,79	0,69	0,68
Peso Seco	Sim	0,37	0,37	0,37	0,33	Sim	0,44	0,43	0,41	0,40

Figura 20 - Resumo dos estudos de capacidade do processo

Analisando os valores obtidos, pode afirmar-se que, para ambas as variáveis nos dois segmentos existentes, o processo está em controlo estatístico. Contudo, tal como se verificou na análise realizada à linha 62, o processo aparenta não ser capaz. Importa realçar as diferenças verificadas entre os segmentos, sendo que a máquina da borracha da direita apresenta melhores resultados.

As diferenças verificadas entre segmentos pressupõem que as duas máquinas da borracha não estão a operar sob as mesmas condições. A máquina da esquerda tem tendência a aplicar uma maior quantidade de borracha, o que pode ser explicado por não ter lubrificação automática. Isto requer um maior cuidado por parte dos operadores para manter as condições ótimas, o que nem sempre se verifica. Para provar graficamente esta inferência, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) entre os dois segmentos. Na Figura 21 pode-se observar a análise realizada, que corrobora aquilo que foi dito previamente.

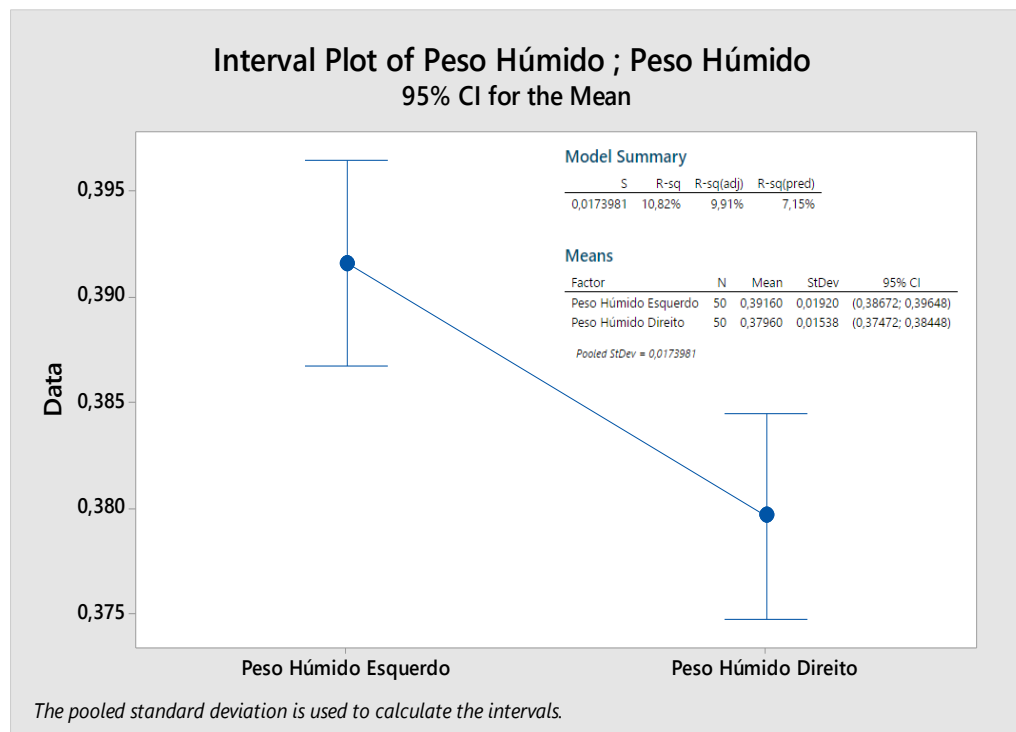


Figura 21 - ANOVA para peso húmido no segmento esquerdo e direito da linha 69

4.3 Humidade Residual

Para além da análise da quantidade de vedante aplicada, considerou-se relevante fazer o diagnóstico do processo baseado na humidade residual do vedante. Esta característica pode ser calculada através da Equação 4.1.

$$H_R = H_B - \frac{P_H - P_S}{P_H} \quad (4.1)$$

Onde,

H_B , é a humidade inicial da borracha especificada pelo fornecedor,

P_H , é o peso húmido, e

P_S , é o peso seco.

A eficácia do processo é determinada pela humidade residual, que representa a quantidade de água existente no filme de borracha após este ser submetido a um processo de cura através da passagem no forno. A Figura 22 mostra o histograma desta variável de resposta para a linha 62, construído a partir dos dados recolhidos no controlo do processo. No Anexo H, podem-se encontrar os histogramas construídos para os dois segmentos da linha 69.

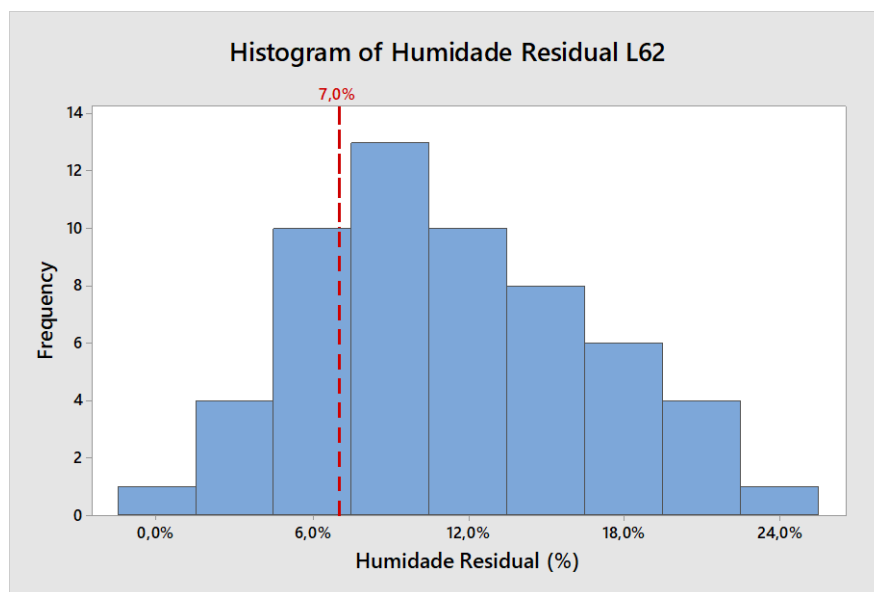


Figura 22 - Histograma da Humidade Residual na L62

De acordo com o fornecedor, o valor aconselhável de humidade residual à saída da linha produtiva deve ser inferior a 7%. Este valor é determinado com base no que se pretende obter no momento da cravação. Como os componentes não são de imediato encaminhados para a montagem, o vedante perde uma grande quantidade de água, sendo que o valor final pretendido deve ser inferior a 3%. A análise do histograma indica que grande parte dos componentes não está a cumprir esta especificação. Este elevado número de ocorrências que excedem a humidade residual desejada é um indicativo de que o sistema não consegue produzir componentes conformes.

Tal como se constatou previamente, a linha de produção de fundos apresenta resultados mais satisfatórios. A análise da humidade residual corrobora essas conclusões. Esta realidade pode ser atribuída à própria geometria dos componentes. Como as cúpulas enfrentam um processo de conformação mais exigente, atingem a etapa de aplicação de borracha com uma temperatura

mais elevada. Esta temperatura retarda o processo de secagem, acarretando percentagens excessivamente elevadas de humidade residual no fim do processo.

Uma análise aos fornos permitiu detetar incongruências em relação às recomendações do fornecedor. É aconselhável que os componentes permaneçam no forno durante cerca de 3 minutos e que a temperatura atingida junto do filme de vedante seja de, pelo menos, 80°C. Ambas as linhas de produção em estudo apresentaram valores inferiores relativamente ao tempo de permanência e à temperatura, o que se traduz num processo de secagem pouco eficaz. Importa salientar que, apesar de ser a situação ideal, forçar os componentes a cumprir o tempo estipulado implica perdas de produção de uma ordem de grandeza significativa, visto que aumenta consideravelmente o *cycle time*³.

4.4 Análise à máquina de aplicação de borracha

Uma das principais causas assinaladas para os problemas existentes na quantidade de vedante aplicada nos componentes é atribuída a estratégias de manutenção desadequadas para a máquina da borracha. A Figura 23 mostra a distribuição das paragens ocorridas na máquina da borracha da linha 62, no ano de 2019.

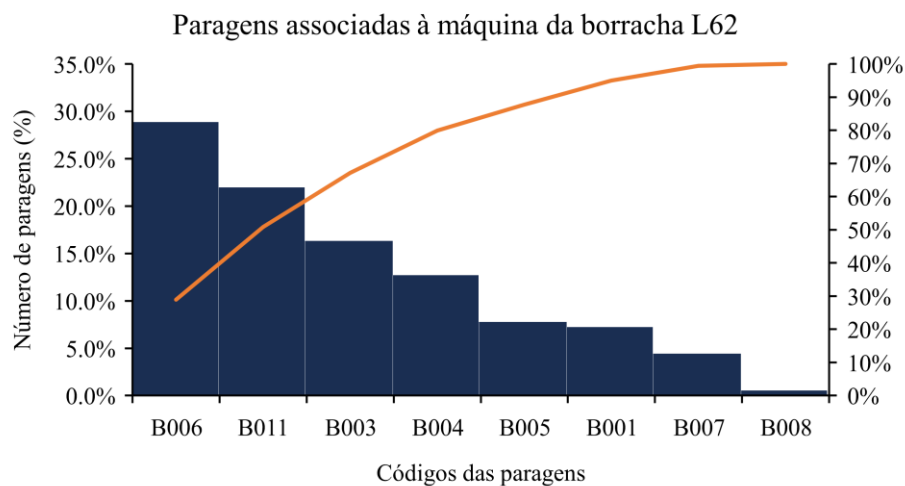


Figura 23 - Diagrama de Pareto das paragens associadas à máquina da borracha

Na Tabela 2, é possível encontrar a nomenclatura associada aos códigos presentes usados para construir o diagrama de Pareto para possibilitar a leitura do mesmo.

Tabela 2 - Nomenclatura dos códigos das paragens relevantes

Código	Nomenclatura
B001	Riscos
B003	Falhas de Borracha
B004	Encravamentos
B005	Limpeza do Bico
B006	Limpeza Sistema Borracha
B007	Avaria mecânica
B008	Avaria elétrica
B011	Outros

³ Tempo total entre o início e o término do fabrico de um componente

A causa de paragens associada à máquina de aplicação de borracha que ocorre mais frequentemente é devido à limpeza do sistema da borracha. Esta limpeza pode incluir os diferentes componentes do sistema, tais como a esfera e o injetor. A razão pela qual existe um número elevado de interrupções para realizar tarefas de limpeza deve-se ao facto de não existir uma maneira *standard* de agir aquando da ocorrência de avarias. Na presença de características atípicas na borracha aplicada nos componentes, a primeira ação corretiva a ser considerada pelos operadores é limpar os diferentes constituintes do equipamento que influenciam na injeção da borracha. A repetição desta tarefa acarreta perdas de tempo de produção na linha que, como se trata de uma indústria de alta cadência, se refletem na perda de capacidade de produção de, aproximadamente, meio milhão de componentes por ano. Para além das perdas produtivas, este procedimento confere uma falsa segurança que o equipamento está a operar corretamente. Dada a frequência de ocorrência desta tarefa, considera-se pertinente adicioná-la ao plano de manutenção autónoma (MA) numa base semanal. Importa referir que foi feita uma análise semelhante às restantes linhas de cúpulas e de fundos, e concluiu-se que as tarefas de limpeza eram persistentemente responsáveis pelas maiores paragens, sendo pertinente proceder à alteração de todos os planos de MA.

A análise destas paragens permitiu concluir que os registos das manutenções não contemplam todas as tarefas efetivamente realizadas. Confrontando os dados da produção com os dados das manutenções corretivas disponibilizados em SAP, foi possível concluir que não existe registo de todas as intervenções feitas à máquina da borracha. Isto conduz à perceção de um cenário otimista no que diz respeito à eficácia das ações preventivas efetuadas. Uma análise exaustiva aos dados presentes nos mapas de registo de controlo e produção, existentes apenas em formato físico, permitiu construir um histórico que incorporasse todas as trocas de componentes realizadas na máquina da borracha. A troca sistemática de componentes que ainda não se encontram no fim de vida acarreta custos elevados para a empresa. Concluiu-se que, se para todas as mudanças efetuadas fosse aberta uma ordem de MC e consequente registo em SAP, os custos no final do ano de 2019 relativos a estas atividades sofriam um aumento de, aproximadamente, 50%.

Esta análise permitiu listar os componentes sujeitos a um maior número de trocas. Como seria de esperar, os elementos suscetíveis a uma multiplicidade de mudanças são aqueles que compõem o injetor. Este sistema é responsável pela dispersão da borracha na orla dos componentes. Na presença de anomalias associadas ao vedante, os operadores procedem à substituição destes componentes com a perspetiva de minimizar as paragens. Observando a Figura 24, é possível analisar um excerto representativo da evolução das perdas de tempo de produção entre as intervenções corretivas.

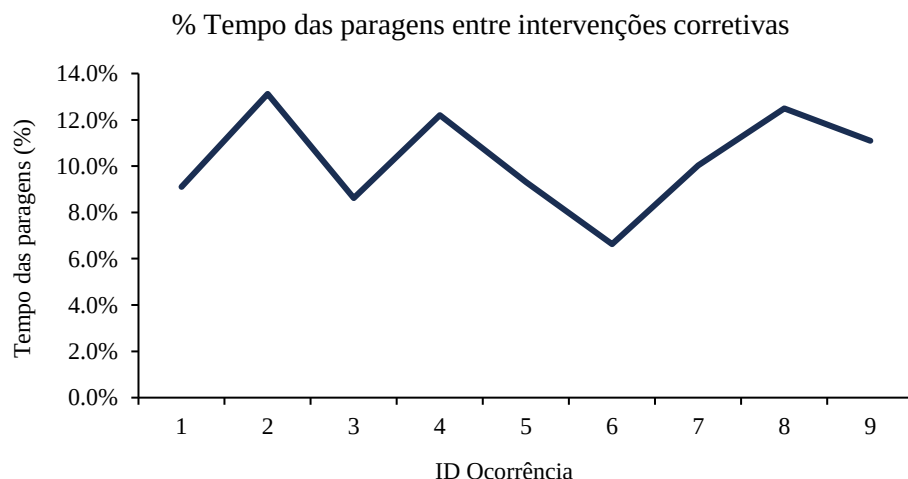


Figura 24 - Evolução do tempo das paragens (%) entre intervenções

Os dados utilizados para construir o gráfico são respeitantes às intervenções não planeadas de maior dimensão realizadas ao injetor e respetivos componentes. Com esta análise, pretendeu-se determinar a eficácia das mudanças efetuadas pela produção. Para isto, teve-se em consideração o tempo trabalhado diariamente e o tempo associado às paragens relativas às falhas de borracha. Contrariamente àquilo que se desejava, as substituições realizadas pelos operadores, na maioria das vezes, não resultam num melhor funcionamento do equipamento. O impacto das interrupções devido a falhas de borracha não é proporcional às alterações a que o mecanismo é submetido. Isto significa que o modo de atuar não é adequado às dificuldades encontradas, não se traduzindo na melhoria da eficiência do processo produtivo. O estudo realizado comprova a ausência de um procedimento normalizado capaz de responder às necessidades do equipamento.

Apesar de nas análises transatas ter sido sempre considerado o estudo paralelo das linhas 62 e 69, devido à dificuldade de obtenção de dados, foi apenas possível realizar um diagnóstico pormenorizado à máquina da borracha da linha 62.

4.5 Ordens de Manutenção

Apesar do foco na máquina de aplicar borracha, é necessário analisar os restantes equipamentos das linhas produtivas de forma a viabilizar a construção dos planos de MP na totalidade. Devido aos custos envolvidos quando as ações corretivas se sobrepõem às ações preventivas, existe necessidade de estudar as últimas com um maior nível de detalhe.

Tal como foi referido anteriormente, a calendarização destas ações pode ser consultada no sistema informático SAP. Na Figura 25 encontram-se os dados referentes ao ano 2019 distribuídos semanalmente.

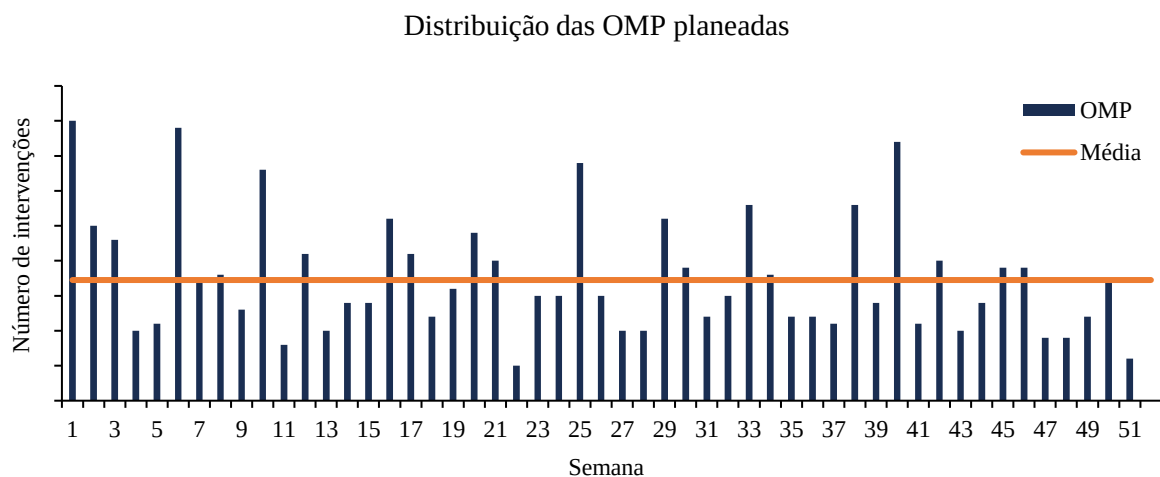


Figura 25 - Distribuição semanal das OMP planeadas para 2019

Com uma análise à distribuição das ordens de manutenção preventiva (OMP), é possível assinalar algumas discrepâncias nos planos ao longo das semanas do ano. A heterogeneidade verificada não é unicamente atribuída à determinação pouco cuidadosa das periodicidades. As tarefas contempladas nos planos apresentam um grau de dificuldade díspar. Apesar de existirem ações cujo objetivo é substituir componentes ou aumentar a fiabilidade dos equipamentos, existem também diversas tarefas que são apenas inspeções. Estas intervenções preventivas acarretam benefícios na monitorização de situações anómalas face aos parâmetros *standard*, requerendo uma menor necessidade de tempo gasto na sua resolução. Com a sua inclusão nos planos de manutenção, pretende-se garantir o bom funcionamento dos equipamentos e regularizar o processo produtivo. Contudo, a realização destas tarefas é frequentemente desvalorizada, sendo que, apesar de constarem nos planos, os técnicos não as efetuam.

Comparando com esta realidade, a Figura 26 permite observar a distribuição semanal de intervenções preventivas efetivamente realizadas em 2019.

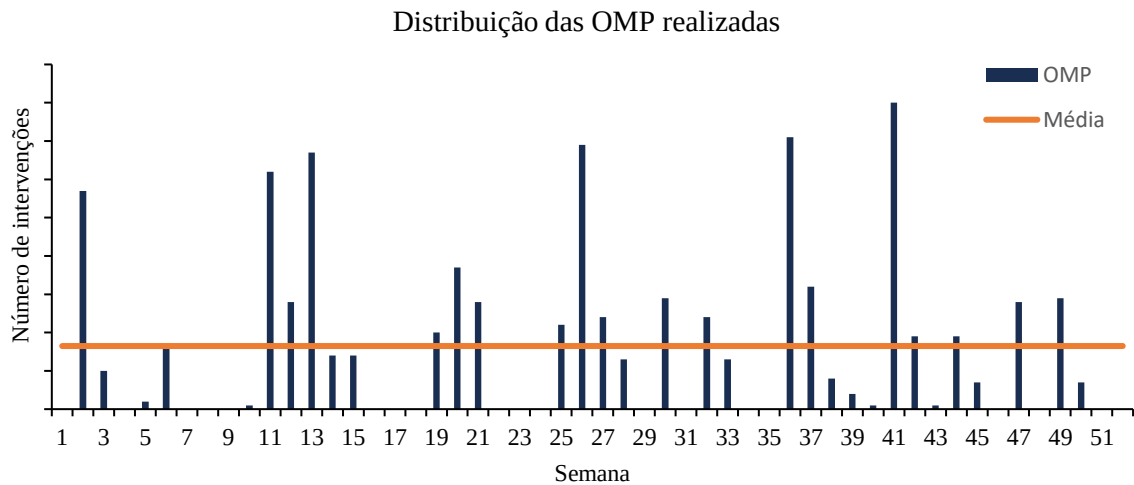


Figura 26 - Distribuição semanal das OMP realizadas em 2019

São evidentes as diferenças existentes entre o planeamento da distribuição das tarefas preventivas e a distribuição das tarefas que efetivamente são realizadas. Dada a extensão dos planos existentes, as tarefas não são passíveis de ser planeadas diariamente nem alocadas a um técnico em específico, pelo que são executadas quando existe disponibilidade para tal. A constante emissão de ordens de manutenção cria uma sobrecarga de trabalho aos técnicos, impossibilitando os mesmos de cumprirem as atividades propostas.

É possível representar esta sobrecarga através dos valores percentuais de atraso na conclusão das tarefas de manutenção. Na Tabela 3, apresentam-se os valores relativos ao número de semanas de atraso.

Tabela 3 - Análise dos tempos para resolução das OMP

Semanas de atraso	1	2	3	4	>4
Percentagem	25,70%	18,15%	25,17%	10,33%	20,66%

Importa ressaltar que a razão para os atrasos verificados não se deve unicamente à sobrecarga dos técnicos, mas também à participação da chefia no processo de fecho das ordens de manutenção. Devido ao facto de coexistirem situações com um maior nível de prioridade, os responsáveis não têm capacidade de proceder ao fecho das ordens na data devida. Estas situações prejudicam todo o procedimento, pois as ordens ficam pendentes até ser efetuado o correto encerramento. A dessincronização entre o momento em que a tarefa é realizada e o momento em que o seu cumprimento é registado em SAP influencia o agendamento das futuras intervenções. Isto porque as datas para a realização das tarefas são calculadas pelo sistema informático consoante a periodicidade definida e a data da última ocorrência dessa mesma tarefa. Como consequência, são induzidas perturbações ao planeamento inicialmente definido e as atividades não são balanceadas devidamente.

4.6 Estudo dos equipamentos das linhas de produção

Para complementar as análises referidas, e de modo a uma integração mais profunda da realidade dos equipamentos que compõem as linhas produtivas para uma consequente proposta de melhoria, foi necessário fazer um estudo detalhado a estes equipamentos.

Numa primeira fase, com o auxílio dos técnicos alocados à área de estampagem, foram eliminadas as tarefas consideradas prescindíveis dos planos de MP atuais. Neste processo,

considerou-se relevante transferir algumas das tarefas descritas para os planos de MA, como é o caso de ações de limpeza e lubrificações. Concluída esta etapa, estudou-se o comportamento dos equipamentos através dos registos de avarias disponíveis. Foi necessário proceder a um estudo de criticidade para determinar o grau de importância de cada equipamento dentro do processo produtivo. Construiu-se uma matriz de avaliação que permite atribuir uma classificação para diferentes critérios. Esta matriz encontra-se no Anexo I. De forma a estabelecer uma ordem lógica nas intervenções de manutenção, foi realizada uma classificação ABC para categorizar os equipamentos. Na ótica deste conceito, um equipamento pode ser classificado como A (crítico), B (importante) ou C (auxiliar). No Anexo J é apresentado o fluxo utilizado para poder definir o nível de prioridade de cada equipamento, com base na matriz de criticidade. Com esta abordagem, pretende-se hierarquizar as prioridades de atendimento das tarefas de manutenção.

Para possibilitar a adoção de uma mentalidade que antefira a MP, foi desenvolvida uma metodologia de organização, planeamento e standardização deste tipo de intervenções. Com esta metodologia pretende-se criar um conjunto de rotinas constituídas por diferentes tarefas. Estas tarefas são associadas consoante o equipamento a que se referem e a linha na qual seriam realizadas, o género de intervenção e os consumíveis que são utilizados. Depois de agrupadas, é definida uma periodicidade para cada rotina, a duração da execução das tarefas incluídas na mesma e os consumíveis necessários à sua execução.

A Figura 27 representa um exemplo de aplicação desta metodologia para uma lista genérica de tarefas de manutenção preventiva.

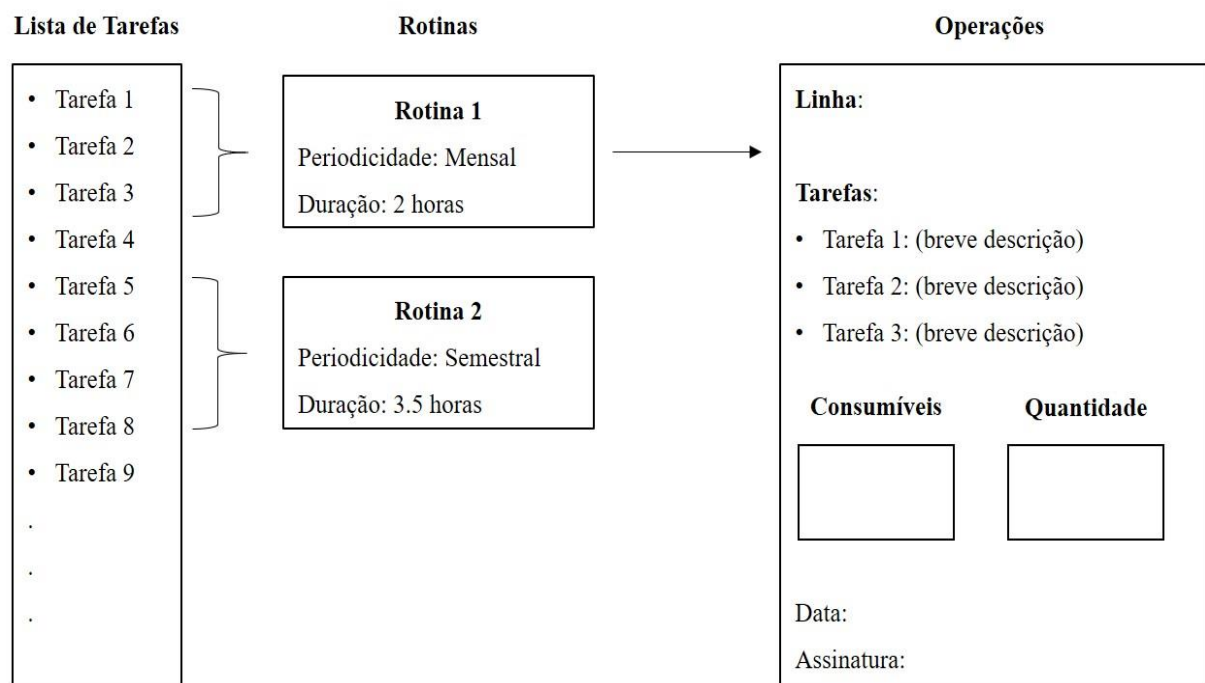


Figura 27 - Exemplo de aplicação de uma metodologia de organização de tarefas de manutenção preventiva

A principal vantagem da aplicação desta metodologia advém do facto de permitir a reorganização das tarefas pendentes de manutenção, capacitando os técnicos de um planeamento eficaz das diferentes atividades. Este método assegura a standardização dos processos e rotinas de manutenção.

4.7 Síntese

A análise do processo produtivo revelou falhas no que diz respeito à variabilidade, expondo a falta de capacidade, de ambas as linhas sob investigação, de produzirem componentes que respeitem as especificações definidas no que concerne à quantidade de vedante aplicada. Este estudo evidenciou a necessidade de redefinir os limites do peso húmido, já que os valores atualmente estabelecidos induzem em erro os operadores e conduzem à aceitação de componentes que vão suscitar complicações na etapa da montagem. Para além disso, destacam-se as lacunas a nível da monitorização do processo que impedem a deteção pronta de anomalias, conduzindo ao fabrico de componentes não conformes.

Devido ao custo que é imputado à empresa, é necessário corrigir a tendência de agir apenas após ocorrerem avarias e aumentar a proporção de atividades de MP. A heterogeneidade verificada no planeamento das tarefas de manutenção acarreta dificuldades na realização de todas as atividades planeadas. Torna-se, então, necessário elaborar planos que integrem as diferentes tarefas a realizar em cada um dos equipamentos, dando prioridade àqueles que apresentam maior criticidade. A metodologia desenvolvida para estandardizar as intervenções potencia um planeamento mais eficaz dos recursos necessários para a realização das mesmas. Assim, é possível coordenar as atividades de manutenção com as atividades de produção, fomentando a manutenção de oportunidade.

5 Propostas de solução

Neste capítulo, apresentam-se soluções para os problemas identificados e as ferramentas desenvolvidas para potenciar um acompanhamento eficiente do processo, assim como propostas de melhoria. As soluções recomendadas assentam na ambição de minimizar o desperdício inerente ao processo produtivo, ao mesmo tempo que possibilitam a entrega de produtos que satisfaçam o cliente em todos os critérios por ele projetados.

5.1 Redefinição dos limites de peso húmido da borracha

As análises realizadas evidenciaram discrepâncias no peso húmido e no peso seco da borracha. *A priori*, imaginar-se-ia que os resultados iriam ser semelhantes já que são variáveis dependentes entre si. Contudo, o estudo desenvolvido provou que, ao controlar apenas o peso húmido, as conclusões relativas à conformidade dos produtos podem não ser fidedignas. O facto de os valores de peso húmido medidos induzirem em erro conduz à necessidade de estes sofrerem modificações. É sabido que os limites de peso seco são definidos pelo fornecedor, não podendo, portanto, ser alterados. Como tal, é necessário proceder à redefinição dos limites de peso húmido que permitam originar a quantidade de vedante desejada nos componentes, no final do processo produtivo.

Com base no histórico de dados previamente utilizado, foi possível construir o gráfico da Figura 28 para a linha 62. No Anexo K podem-se encontrar os gráficos correspondentes aos dois segmentos da linha 69.

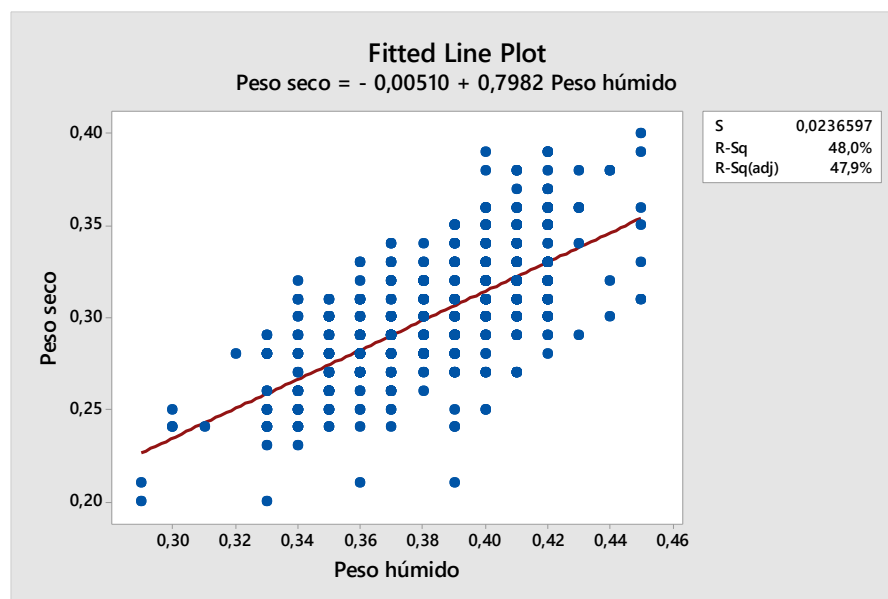


Figura 28 - Gráfico de dispersão entre peso húmido e peso seco na linha 62

Os gráficos realizados demonstram a relação entre as duas variáveis, permitindo retirar as equações que se adaptam mais corretamente a cada dispersão. Através das equações é possível recalcular o mínimo e máximo de peso húmido que devem ser aceites pela produção, para atingir o objetivo dos limites do peso seco. A Tabela 4 apresenta a proposta dos novos valores de peso húmido para a linha 62, em contraste com os limites utilizados até à data. Os limites apresentados foram validados com os valores recolhidos para a análise de variabilidade realizada no Capítulo transato.

Tabela 4 - Proposta de limites para o peso húmido da L62

	Limite Inferior (g)	Limite Superior (g)
Valores atuais	0,33	0,42
Proposta	0,30	0,39

Para cumprir estes valores, a pressão com que a máquina de borracha deve atuar tem que diminuir ligeiramente face ao valor atualmente estabelecido. Outra forma de diminuir a quantidade de vedante aplicada envolve a redução da velocidade do mandril. Após analisar o manual do fabricante, optou-se por não considerar esta hipótese já que aumentaria a probabilidade de ocorrência de falhas de borracha devido à heterogeneidade do vedante depositado.

Importa referir que, apesar de previamente terem sido verificadas diferenças entre os segmentos esquerdo e direito da linha 69, os limites obtidos através das duas equações foram aproximadamente iguais, correspondendo aos valores atualmente utilizados. Contudo, o facto de ambos os segmentos apresentarem dificuldade em cumprir as especificações implica que seja feita uma revisão minuciosa à máquina da borracha. Numa situação ideal, devido ao pior desempenho da máquina da borracha do segmento esquerdo, dever-se-ia adquirir um equipamento semelhante àquele que é utilizado no segmento direito, com lubrificação automática.

5.2 Implementação de cartas de controlo

Tal como foi referido anteriormente, o uso de cartas de controlo não é recorrente. É da responsabilidade de um operador realizar as rotinas de qualidade diariamente em todas as linhas e proceder ao registo dos valores obtidos numa folha de Excel. Esses valores não são alvo de qualquer análise, o que não permite tirar ilações de potenciais anomalias existentes no processo.

Para detetar possíveis variações, devem ser usados métodos de controlo que, com base nos registos de informação, permitam mostrar visualmente o estado do processo. Aliado ao facto do registo ser informatizado, foi incorporado um mecanismo para a criação automática de tabelas diárias e mensais para as diferentes linhas produtivas, assim como para a geração de cartas de controlo. A ferramenta permite também o cálculo dos índices de capacidade do processo. Desta forma, é possível colmatar a lacuna existente no que diz respeito a estudos estatísticos realizados por parte da empresa.

Numa fase inicial, considerou-se prioritário modificar o Excel utilizado até à data, para ser mais intuitivo. Assim, replicou-se o *layout* da folha física para o Excel de forma a agilizar o preenchimento por parte do colaborador. No Anexo L, é apresentado o exemplo da folha de registo para as linhas de produção de cúpulas. Concluída esta etapa, procedeu-se à construção das restantes folhas que abrangem os mapas diários e mensais das linhas de produção de cúpulas e fundos. A incorporação de diferentes campos permitiu uma análise mais personalizada, sem descuidar uma aplicação simplificada da ferramenta. Apesar do foco do projeto ser o peso da borracha, considerou-se pertinente integrar nesta ferramenta todas as características submetidas a um controlo dimensional nas diferentes linhas produtivas. No Anexo M, pode ser consultada a folha utilizada para a exposição da tabela que sumariza os valores dos controlos efetuados para uma determinada linha de produção de cúpulas, e respetivas cartas de controlo. A tabela originada, para além de apresentar os valores que caracterizam o processo, permite a comparação direta com os valores pretendidos pela empresa.

Através de ações desta natureza, torna-se viável um acompanhamento assíduo do processo e a sinalização de tendências ou padrões que permitam assinalar desgaste ou avarias nas máquinas. A proposta desenvolvida foi aceite e encontra-se a ser utilizada na secção de estampagem de aerossóis.

5.3 Metodologia de identificação de avarias

Através dos dados obtidos pela análise detalhada à máquina da borracha, é possível criar uma metodologia capaz de identificar uma anomalia no equipamento e seguir um fluxograma de decisão com o objetivo de resolver o problema autonomamente. As instruções contempladas neste fluxograma capacitam o operador a determinar a prioridade da avaria e, se necessário, advertir a equipa da manutenção da necessidade de intervir. Na Figura 29, está representado o exemplo de um fluxograma para uma das ocorrências mais frequentes, que diz respeito às falhas de borracha nos componentes.

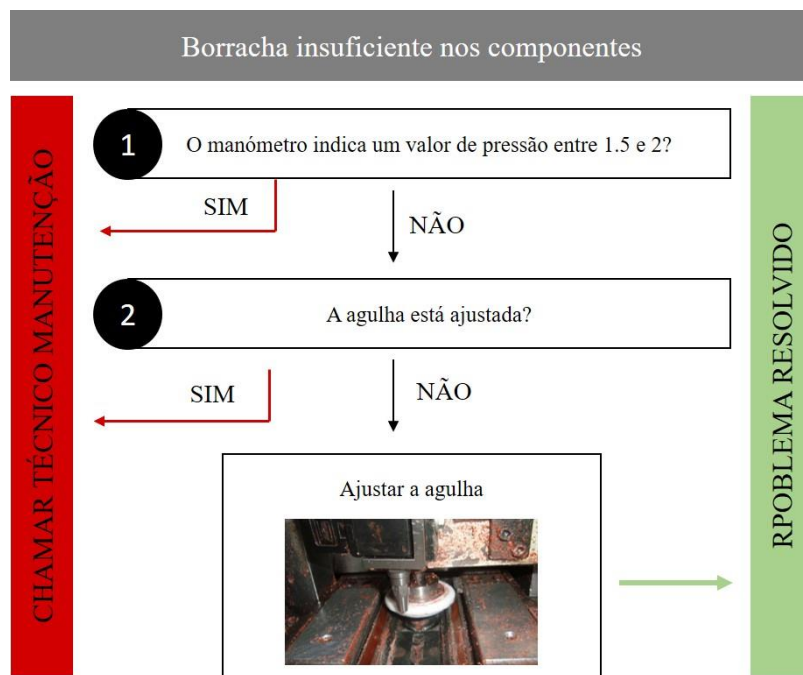


Figura 29 - Fluxograma de decisão do modo de atuação

Quando o fluxograma é seguido e a decisão recai na necessidade de intervenção de um técnico de manutenção, já foi realizada uma despistagem inicial para as possíveis causas do problema. Esta despistagem é potenciada pelo fluxograma apresentado que vem agregado a uma tabela de registos, como aquela que se apresenta na Figura 30.

1	N	N	S					
2	N	S	-					
	-	✓	✓					

Figura 30 - Exemplo de tabela de registos do percurso do fluxograma

No caso em que o resultado final se traduz no problema solucionado, não é necessário recorrer aos técnicos, o que se reflete numa libertação de recursos da equipa da manutenção para a realização de tarefas mais complexas, com maior valor acrescentado. Esta ferramenta apresenta-se como uma forma simples e visual de estruturar o diagnóstico de anomalias e consequente despistagem. Este método pretende transferir conhecimento técnico às equipas de produção, devendo ser encarado como uma ferramenta dinâmica. Após servirem as finalidades de formação e sensibilização, deve proceder-se à substituição por novos problemas recorrentes. Importa referir que se pretende que esta metodologia seja aplicada em todos os equipamentos

das diferentes linhas produtivas, contudo, devido à escassez de informação, foi apenas possível desenvolver a mesma para a máquina da borracha.

Para criar uma metodologia semelhante à supracitada para os restantes equipamentos, é necessário perceber primeiramente os modos de atuação perante as várias avarias. Foi criada uma folha de serviços, tal como a que se apresenta no Anexo N, para os técnicos anotarem o modo de atuação para corrigir as anomalias. Através da construção de um histórico constituído por estas anotações, é possível replicar a metodologia a todos os equipamentos das diferentes linhas produtivas. Para além disso, com este histórico pretende-se capacitar os planos de manutenção de um maior nível de detalhe relativamente às tarefas que os integram.

5.4 Planeamento interno das Manutenções Preventivas

Com o objetivo de implementar melhorias a nível do planeamento interno, foi necessário proceder a alterações nas ordens de MP, no que diz respeito ao seu processo de execução, ao processamento e às próprias tarefas que as integram.

5.4.1 Processo de intervenção

Como abordado no Capítulo anterior, a inércia associada ao encerramento das ordens de MP acarreta consequências nas futuras intervenções a serem realizadas. A ausência de um procedimento normalizado para o processamento de manutenções preventivas leva a que esta tarefa seja demorada e suscetível a erros, dado o elevado número de ordens para fechar semanalmente. Surgiu então a necessidade de criar um processo que pudesse ser seguido uniformemente pela administração. O procedimento proposto encontra-se descrito na Figura 31.

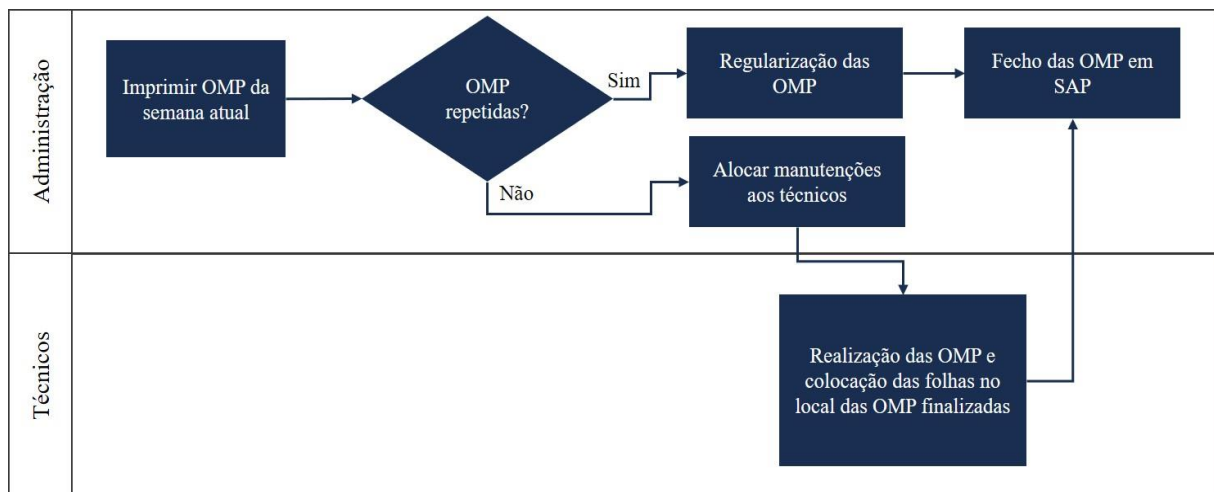


Figura 31 - Swimlane para o processamento de OMP

Com a implementação desta alteração, pretende-se regularizar as ordens no sistema informático, à medida que estas forem realizadas. Esta medida evita acumulação e consequentes atrasos nas semanas seguintes. A uniformização do processo permite a redução do esforço envolvido em burocracias, tornando esta atividade mais flexível e resultando numa diminuição significativa de tempo necessário para a realizar. É esperado que, com esta mudança, as tarefas atribuídas aos técnicos de manutenção sejam orientadas às necessidades reais da empresa.

5.4.2 Redefinição dos planos de Manutenção Preventiva

A análise cuidada dos planos de manutenção atuais permitiu detetar anomalias no que concerne à estrutura e às instruções de trabalho. Apesar das semelhanças existentes entre as linhas

produtivas, os planos apresentam diferenças na estrutura que dificultam a execução das tarefas. Concluiu-se então que os planos deveriam estar assentes numa terminologia uniforme e transversal a todas as linhas. Devido às incoerências encontradas, optou-se pela construção de planos de manutenção desde a definição dos equipamentos que os devem incorporar até à elaboração de procedimentos de trabalho detalhados com o conjunto de tarefas associados a cada ordem.

Numa primeira fase, decidiu-se conhecer as máquinas que compõem as linhas através do contacto direto com as mesmas e do estudo da documentação técnica existente. Para além de identificar os equipamentos, procurou-se assinalar os componentes mais críticos para as operações e que têm tendência a causar avarias mais frequentemente. Esta análise permitiu selecionar os elementos e respetivos constituintes que devem ser alvo de ações preventivas.

Concluída a listagem de equipamentos e componentes das diferentes linhas, procedeu-se a uma seleção exaustiva de tarefas de manutenção que procuram responder às necessidades dos elementos cruciais para a produção. Com base na experiência dos técnicos da manutenção, foi possível complementar este estudo, com o intuito de perceber mais corretamente o comportamento dos equipamentos ao longo do tempo. A esta listagem associaram-se os tempos médios estimados para a realização de cada tarefa. Procurou-se ainda averiguar as tarefas que devem ser realizadas por colaboradores externos à empresa devido ao seu grau de complexidade. Importa realçar que, devido às limitações do tempo despendido na fábrica, foi apenas possível fazer um estudo aprofundado às linhas 62 e 69. Os restantes planos de manutenção foram elaborados, contudo carecem do mesmo nível de detalhe.

A metodologia previamente definida para a criação de rotinas mostrou-se preponderante na renovação dos planos. O trabalho desenvolvido para o cálculo dos indicadores de manutenção foi crucial para a definição das novas periodicidades. Contrariamente àquilo que se verificava nas periodicidades atuais, que eram baseadas em tempo calendarizado, assumindo produção contínua, os indicadores calculados tiveram em consideração o tempo que as máquinas estão efetivamente a produzir. Com base em registos históricos, foi possível estimar, para cada equipamento, o tempo médio de operação e contabilizar o número de avarias.

Os planos desenvolvidos contemplam apenas as tarefas cuja execução se considere essencial para o bom funcionamento das máquinas. Com isto, consegue-se travar situações, como as que ocorriam até à data, relativas à emissão frequente de ordens que não se enquadravam com as circunstâncias correntes, fazendo com que os planos perdessem credibilidade. Pretende-se que os técnicos sigam os planos com o maior rigor possível, tanto no que concerne às tarefas a realizar, como às datas estipuladas.

No Anexo O, encontra-se um excerto do plano de MP realizado para a linha 62. Importa referir que é apenas uma representação esquemática para demonstrar parte daquilo que é contemplado no plano, sendo que todas essas informações necessitam de ser inseridas em SAP.

5.4.3 Balanceamento das atividades

Uma das prioridades deste projeto reside na necessidade de estabilizar o planeamento da distribuição semanal das OMP. Numa perspetiva utópica, a carga de trabalho da equipa de manutenção deveria ser estável ao longo das semanas do ano. A configuração atual constatada na Figura 25 permitiu observar as oscilações existentes ao longo de um ano.

Durante a elaboração dos planos de MP foi necessário definir a data em que se iniciaria o novo ciclo para cada uma das tarefas. Para isto, procedeu-se a um processo iterativo que considerou as tarefas de todos os planos de manutenção da área de estampagem, de modo a associar ordens semelhantes para serem realizadas simultaneamente e garantir a estabilização da distribuição das tarefas. Esta metodologia teve em consideração o panorama atual para evitar perturbações no bom funcionamento do setor. A distribuição não foi feita unicamente com base no número

de inspeções a realizar em cada semana, mas também na complexidade dessas intervenções. A Figura 32 apresenta a configuração das tarefas considerando as mudanças efetuadas.

A nova distribuição das OMP tem como consequência uma distribuição mais uniforme das tarefas de manutenção ao longo das semanas do ano. Para além disso, devido à eliminação de atividades dispensáveis, verificou-se uma redução de 8,7% na média de intervenções a serem realizadas. Importa referir que a Figura 32 tem como base os mesmos eixos que a Figura 25 de modo a facilitar a comparação entre as duas realidades.

Distribuição das OMP planeadas - Estado Final

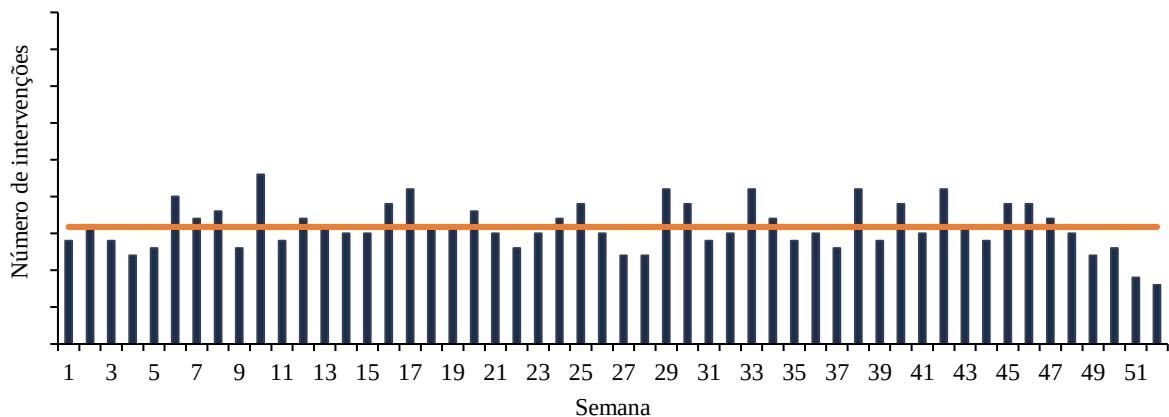


Figura 32 – Nova distribuição semanal das OMP planeadas

As alterações efetuadas permitem uma redução direta de custos de manutenção interna, já que as atividades planeadas são orientadas para os objetivos definidos pela empresa e para as necessidades dos equipamentos. A regularização das tarefas de manutenção capacita os técnicos de uma gestão de tempo mais eficiente e permite que direcionem os esforços para as atividades prioritárias.

5.5 Ferramenta para definição de indicadores

A utilização do SAP por parte da empresa não suscitou a necessidade de criação de uma base de dados alternativa. Contudo, devido ao facto deste ERP não permitir uma análise visual e intuitiva da evolução do estado da manutenção, considerou-se pertinente construir folhas de Excel que permitissem a monitorização da realidade das atividades desta natureza.

Esta ferramenta tem o intuito de facilitar o processo de determinação dos indicadores mais relevantes para a empresa. Assim, as folhas de Excel foram desenhadas para que pudessem ser atualizadas por qualquer colaborador sem ter um conhecimento avançado em nenhuma das duas plataformas em causa. A ferramenta incorpora uma descrição pormenorizada dos passos a seguir para a correta utilização da mesma, bem como as transações específicas em SAP. No Anexo P, pode ser consultada a folha respetiva às instruções de utilização e, no Anexo Q, um exemplo de uma folha cujo objetivo é a comparação dos custos associados às ordens de manutenção preventiva e corretiva.

Embora seja pertinente acompanhar a evolução de outros indicadores para um pleno controlo das operações, a escassez de dados não permitiu o cálculo dos mesmos. Importa, no entanto, ressaltar a adaptabilidade da ferramenta de forma a possibilitar a futura introdução de novos indicadores.

A inclusão de ferramentas desta natureza mostra-se vantajosa a curto e médio prazo, uma vez que permite a monitorização contínua de indicadores essenciais para a correta perceção da realidade das linhas de produção, sem causar uma entropia significativa no sistema.

5.6 Aplicação para monitorização das atividades de manutenção

Apesar das ferramentas desenvolvidas, considerou-se pertinente criar uma aplicação para ser utilizada pelos técnicos da manutenção que permitisse um registo mais rápido e intuitivo das intervenções realizadas neste setor.

O *Microsoft Power Apps* é uma multiplataforma que viabiliza que a ferramenta desenvolvida seja executada num navegador *web* ou no próprio aplicativo para telemóveis ou *tablets*. Esta versatilidade permite que os técnicos tenham a aplicação disponível nos locais onde realizam o trabalho, sendo os registos automaticamente armazenados para posteriores análises.

Uma das principais características a ser reconhecida nesta ferramenta é a facilidade de utilização. O aplicativo foi desenhado para ser usado de forma expedita por qualquer um dos colaboradores, não sendo necessário ter formação prévia para o correto manuseamento. A cada técnico são atribuídos um nome de utilizador e uma *password* que possibilitam o acesso a todas as páginas de registo. O acesso às diferentes páginas é dependente da função do colaborador. As chefias podem aceder à distribuição de trabalho dos técnicos, conseguindo alocar ordens de manutenção consoante a carga de trabalho de cada um. No Anexo R, é possível visualizar uma das páginas cuja funcionalidade é registar as avarias. Nesta secção, os colaboradores devem registar o momento em que ocorreu a avaria e quando foi solucionada, assim como o instante em que se iniciou a intervenção. Com isto, pretende-se criar um histórico que contenha os tempos médios de espera das máquinas para ser intervencionadas e o tempo necessário para reparar as diferentes avarias (MTTR). Para além disso, pretende-se que sejam registados os componentes e as ferramentas utilizados nas tarefas. O objetivo de arquivar estes dados prende-se com a intenção de completar os planos de MP com informações desta natureza.

Para além de páginas de registo, existem páginas de consulta que integram todos os dados recolhidos. O *Power BI* tem acesso direto a estes registos e transforma-os em elementos visuais avançados, que são atualizados diariamente. Esta plataforma está incorporada no *Power Apps* e permite visualizar a distribuição dos dados através de sumários e gráficos de interpretação intuitiva, facilitando a deteção de tendências atípicas.

A implementação desta aplicação permite a difusão da transformação digital em processos manuais que tendem a ser demorados e constituídos por diversas etapas, estando mais suscetíveis a não serem documentados com precisão. Esta ferramenta permite promover o cumprimento dos objetivos traçados pela empresa através da automatização dos procedimentos de registo das tarefas realizadas.

6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O presente Capítulo pretende sumarizar o trabalho desenvolvido no decorrer do projeto. Procurou-se expor a metodologia seguida para investigar os problemas enfrentados, assim como referenciar as soluções propostas para a resolução dos mesmos. Foi ainda considerado importante incluir sugestões para explorar em trabalhos futuros.

6.1 Principais Conclusões

A estampagem de componentes para embalagens de aerossóis é caracterizada pela sua alta cadência de produção, traduzindo-se na perda de capacidade de produção de numerosos componentes na presença de elevada variabilidade no processo. Resultante da produção recorrente de produtos não conformes, surgiu a necessidade de investigar este problema pelo avultado impacto que provoca no desempenho da empresa.

O projeto desenvolvido foi motivado pela deteção do incumprimento das especificações definidas para a quantidade de vedante depositada nas cúpulas e nos fundos. Com o intuito de analisar as causas de variabilidade intrínsecas às linhas de produção que podem influenciar o peso da borracha, foi construído um diagrama de *Ishikawa*. Desta análise, surgiu o interesse de seguir duas abordagens distintas para estudar o problema. A simbiose entre a manutenção e a qualidade permitiu uma análise individual aos dois campos de ação, convergindo no mesmo propósito de minimizar as ocorrências de irregularidades no processo de aplicação de vedante.

Do ponto de vista da qualidade, foi necessário estudar a capacidade do processo. Antes de serem efetuadas medições, averiguou-se a capacidade de medição dos instrumentos utilizados no controlo de qualidade. Este estudo possibilitou assumir que a variação total verificada é maioritariamente devida às diferenças entre os componentes, sendo um indicativo que os instrumentos conseguem distingui-los com sucesso. Concluiu-se que, apesar de ambos os sistemas de medição se apresentarem como sendo satisfatórios para desempenhar a função, a balança do laboratório demonstrou um melhor desempenho, o que levou à seleção deste instrumento para realizar as medições.

Após a validação do sistema de medição, foram realizados ensaios nas linhas produtivas nas quais se mantiveram as mesmas condições de operação, o que significa que não se procedeu a calibrações das ferramentas e o material utilizado tinha o mesmo revestimento. A finalidade foi garantir que não existiam fatores externos a influenciar a quantidade de borracha depositada nos componentes. A análise primordial aos registos históricos permitiu assinalar diferenças significativas entre o estado do vedante após a aplicação e após a cura. Imediatamente depois de ser depositada, a borracha aparentava respeitar os limites predefinidos. Contudo, após secar, o peso da borracha estava muito aquém dos valores desejados. Assim, considerou-se pertinente estudar as variáveis separadamente. No que diz respeito à linha 62, a análise ao peso húmido mostrou que o processo era estável em termos de variabilidade, mas os índices de capacidade indicaram que o processo não é capaz. Contudo, no que refere ao peso seco, apesar do processo também ser estável, não se encontrava em controlo estatístico. Estas ilações conduziram à necessidade de modificar os limites de especificação do peso húmido definidos pela empresa. Foi proposto que um novo intervalo de [0,30; 0,39] g para viabilizar o alcance dos valores de peso seco delineados pelo fornecedor. Seguiu-se uma metodologia análoga na linha 69, sendo que, para ambas as variáveis, o processo era estável e encontrava-se em controlo. No entanto, como os índices de capacidade não atingiram os valores de *benchmark*, existe oportunidade de melhoria. Foram assinaladas diferenças entre o segmento direito e o segmento esquerdo, sendo que a pista direita apresentava resultados mais satisfatórios. Isto é motivado por esta pista ser constituída por uma máquina da borracha com lubrificação automática. A recomendação feita foi, então, capacitar o segmento esquerdo com um equipamento semelhante. Não se considerou

necessário proceder à redefinição dos limites de especificação, visto que os valores de peso húmido definidos mostraram ser capazes de atingir os valores de peso seco.

As dificuldades apresentadas, em ambas as linhas, em cumprir as especificações revelam um controlo de processo pouco eficaz. Para combater as anomalias verificadas, considerou-se relevante construir uma ferramenta em Excel onde os dados de todas as características suscetíveis aos controlos dimensionais são registados e automaticamente convertidos em cartas de controlo e índices de capacidade do processo. Espera-se que com este acompanhamento diário haja um melhor controlo da variação do peso da borracha e das cotas ao longo do tempo, permitindo a identificação de tendências e padrões que potenciam intervenções mais expeditas em situações de descontrolo.

Paralelamente, foi desenvolvido trabalho na ótica do controlo operacional da manutenção. Um estudo detalhado à situação deste campo evidenciou diversas fragilidades na sua gestão. O âmbito deste projeto focou-se numa análise mais pormenorizada à máquina de aplicação de borracha. O estudo desenvolvido denotou a ausência de procedimentos normalizados para resolver avarias. Através de uma análise às intervenções realizadas, concluiu-se que a eficácia das mesmas era muito reduzida, havendo ocasiões em que, após troca de componentes críticos, se verificava um aumento de paragens associadas a problemas de borracha. As intervenções realizadas despistavam a atenção dos problemas que o equipamento apresentava efetivamente. A escassez de procedimentos documentados para serem seguidos pelos colaboradores levou à criação de uma metodologia de identificação de avarias. As linhas de produção devem ser caracterizadas por este fluxograma, de modo a proceder à correta identificação do problema e consequente mitigação.

O projeto incidiu também no aumento da proporção de atividades de MP no contexto global. O estudo realizado considerou todas as linhas produtivas da secção de estampagem e assentou num conhecimento extensivo dos equipamentos que as compõem. A avaliação dos planos de MP vigentes acentuou as disparidades entre as atividades planeadas para cada semana de trabalho. Para além das deficiências apresentadas pelo planeamento, destacou-se o incumprimento da maioria das tarefas de manutenção planeada, conduzindo à prevalência das ações corretivas. Surgiu, então, a necessidade de definir componentes críticos e criar uma metodologia que dinamize um programa mais eficaz para as tarefas a realizar. Neste contexto, com as melhorias propostas é pretendido uniformizar os procedimentos de manutenção para obter o máximo de retorno dos ativos e recursos da empresa. A reformulação dos planos de MP originou uma distribuição homogénea das tarefas planeadas ao longo do ano e permitiu a eliminação de atividades prescindíveis, conduzindo a uma redução de 8,7% na média do número de intervenções a realizar semanalmente. As mudanças praticadas resultam no lançamento de ordens de manutenção direcionadas para as necessidades dos equipamentos, passíveis de ser realizadas atempadamente pelos técnicos. Destacou-se a importância da utilização de ferramentas que permitem calcular indicadores confiáveis e monitorizar as atividades de manutenção efetuadas pelos técnicos, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão ao nível da gestão da manutenção.

6.2 Perspetivas de trabalho futuro

O curto espaço de tempo disponível para a realização deste projeto levou ao desenvolvimento de propostas de melhoria que necessitam de posterior acompanhamento, estando suscetíveis a uma futura análise mais cuidada que considere todo o seu potencial de integração na produção, com vista a maximizar o seu rendimento.

Perante as alterações sofridas pelos limites de especificação, considera-se pertinente replicar o estudo desenvolvido a todas as linhas de produção para averiguar a fiabilidade dos respetivos limites. Apesar de ter sido privilegiado o estudo da quantidade de vedante, seria relevante

investigar a relação desta característica com as restantes variáveis consideradas no controlo dimensional.

Apesar da ferramenta de controlo estatístico desenvolvida, considera-se pertinente a integração de um sistema capaz de proceder ao tratamento estatístico dos dados, em tempo real. É necessário incorporar células de carga para obter o peso do vedante existente nos componentes após aplicação e após cura. Aliada a esta implementação, é sugerida a instalação de um monitor nas linhas de produção para viabilizar um controlo contínuo do processo. Esta tecnologia seria caracterizada por recolher, transformar e analisar rapidamente os dados, possibilitando a construção de cartas de controlo, visualmente acessíveis a todos. Esta funcionalidade propicia o acompanhamento das diferentes linhas, dinamizando a identificação de situações onde os requisitos não estão a ser cumpridos.

O trabalho desenvolvido na reformulação dos planos de manutenção não deve ser considerado como estanque. A natureza dinâmica das políticas de manutenção e a necessidade de as alinhar com os objetivos da empresa requer que os planos sejam regularmente revistos e atualizados. É crucial a utilização das ferramentas desenvolvidas para existir um registo contínuo das intervenções realizadas, promovendo a imputação dos dados nos planos existentes. A longo prazo, seria interessante desenvolver um programa capaz de automatizar o planeamento das atividades de MP tendo em consideração a urgência das atividades e o tempo necessário para as realizar.

Como trabalho futuro é igualmente recomendada a criação de um sistema capaz de monitorizar a quantidade de *spare parts* existente em armazém, que esteja conectado a SAP de modo a garantir a existência de todos os componentes necessários para realizar as intervenções planeadas. Com isto, ambiciona-se otimizar a realização de tarefas de manutenção, diminuindo o tempo associado à execução das mesmas.

Para garantir o bom funcionamento da secção de estampagem, alerta-se para a importância do desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua. É importante contrariar a resistência à mudança e incentivar a implementação de mecanismos que impulsionem o acompanhamento constante do processo e auxiliem na tomada de decisão.

Referências

- Ahuja, Inderpreet P Singh, and Jaimal Singh Khamba. 2008. "Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions." *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Albuquerque Marques, Pedro Alexandre, and Robert Matthé. 2017. "Six Sigma DMAIC Project to Improve the Performance of an Aluminum Die Casting Operation in Portugal." *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Alsyouf, Imad. 2007. "The Role of Maintenance in Improving Companies' Productivity and Profitability." *International Journal of Production Economics* 105 (1): 70–78.
- Ben-Daya, Mohamed, and S O Duffuaa. 1995. "Maintenance and Quality: The Missing Link." *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Burton, Alan. n.d. *Manual de Referência Da Cravação Dupla Para Latas Alimentares*. CarnaudMet.
- Cabral, J.A.S., and R. C. Guimarães. 2007. *Estatística*. McGraw-Hill.
- Cabral, José S. 2004. *Organização e Gestão Da Manutenção*. Edited by Lidel. 4th ed.
- CEN. 2001. "European Standard NP EN 13306, Terminologia Da Manutenção."
- . 2007. "European Standard NP EN 15341, Indicadores de Desempenho Da Manutenção (KPI)."
- Chan, F T S, H C W Lau, R W L Ip, H K Chan, and S Kong. 2005. "Implementation of Total Productive Maintenance: A Case Study." *International Journal of Production Economics* 95 (1): 71–94.
- Deming, W. Edwards. 1982. *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology.
- Ferreira, Luís Andrade. 1998. *Uma Introdução à Manutenção*. Edited by Publindústria. 1st ed.
- Gildeh, Bahram Sadeghpour, Azamsadat Iziy, and Bahareh Ghasempour. 2014. "Estimation of Cpmk Process Capability Index Based on Bootstrap Method for Weibull Distribution: A Case Study." *International Journal for Quality Research* 8 (2): 255–64.
- Gupta, G, and R P Mishra. 2018. "Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance." *Procedia CIRP* 69: 905–9.
- Harry, Mikel J. 1998. "Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability." *Quality Progress* 31 (5): 60.
- Higgins, Lindley R, R Keith Mobley, and Ricky Smith. 2002. *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill New York.
- Hopp, Wallace J, and Mark L Spearman. 2011. *Factory Physics*. Waveland Press.
- IAEA. 2007. "Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants."
- Jardine, Andrew K S, and Albert H C Tsang. 2013. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*. CRC press.
- Juran, Joseph M, and A Blanton Godfrey. 1999. *The Quality Control Process*. McGraw-Hill.
- Kahraman, Cengiz, and Sezi Çevik Onar. 2015. *Intelligent Techniques in Engineering Management*. Vol. 87. Springer.
- Kumar, Sameer, and Michael Sosnoski. 2009. "Using DMAIC Six Sigma to Systematically Improve Shopfloor Production Quality and Costs." *International Journal of Productivity*

and Performance Management.

- Lee, Juhyun, Byunghoon Kim, and Suneung Ahn. 2019. "Maintenance Optimization for Repairable Deteriorating Systems under Imperfect Preventive Maintenance." *Mathematics* 7 (8): 716.
- Linderman, Kevin, Roger G Schroeder, Srilata Zaheer, and Adrian S Choo. 2003. "Six Sigma: A Goal-theoretic Perspective." *Journal of Operations Management* 21 (2): 193–203.
- Liu, Hu-Chen, Long Liu, Qi-Hao Bian, Qin-Lian Lin, Na Dong, and Peng-Cheng Xu. 2011. "Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory." *Expert Systems with Applications* 38 (4): 4403–15.
- Madureira, Ana, Carlos Ramos, and Sílvia do Carmo Silva. 2001. "A Genetic Approach for Dynamic Job-Shop Scheduling Problems." In *4th MetaHeuristics International Conference*.
- Magnusson, Kjell. 2000. *Six Sigma: The Pragmatic Approach*. Studentlitteratur.
- Modarres, Mohammad, Mark P Kaminskiy, and Vasiliy Krivtsov. 2016. *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide*. CRC press.
- Moheb-Alizadeh, Hadi. 2014. "Capability Analysis of the Variable Measurement System with Fuzzy Data." *Applied Mathematical Modelling* 38 (19–20): 4559–73.
- Montgomery, Douglas C. 2001. *Design and Analysis of Experiments*. 5th ed. Wiley, John.
- . 2009. *Introduction to Statistical Quality Control*. 7th ed. York, Wiley New.
- Moore, W J, and A G Starr. 2006. "An Intelligent Maintenance System for Continuous Cost-Based Prioritisation of Maintenance Activities." *Computers in Industry* 57 (6): 595–606.
- Moubray, John. 2001. *Reliability-Centered Maintenance*. Industrial Press Inc.
- Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Portland: Productivity Press.
- Nourelfath, Mustapha, Nabil Nahas, and Mohamed Ben-Daya. 2016. "Integrated Preventive Maintenance and Production Decisions for Imperfect Processes." *Reliability Engineering & System Safety* 148: 21–31.
- O'Connor, Patrick, and Andre Kleyner. 2012. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons.
- Oakland, John S. 2007. *Statistical Process Control*. Routledge.
- Pande, Peter S., Robert P. Neuman, and Roland R Cavanagh. 2000. *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. McGraw-Hill: New York.
- Pomorski, Thomas R. 2004. "Total Productive Maintenance (TPM) Concepts and Literature Review." *Total Productive Maintenance Concepts and Literature Review* April 30.
- Pyzdek, Thomas, and Paul A Keller. 2003. "A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels." New York: McGraw-Hill.
- R. Schmidt, Stephen, Mark Jay Kiemele, and Ronald J. Berdine. 1997. *Basic Statistics: Tools for Continuous Improvement*. 4th ed. Air Academy.
- Rocha, Hermes Soares, Patrícia Alves Marques, António Pires Camargo, and Acacio Perboni. 2014. "Estabilidade e Índice de Capacidade Para Processo de Medição de Perda de Carga." In *II Inovagri International Meeting*.
- Schippers, Werner A J. 2001. "An Integrated Approach to Process Control." *International*

Journal of Production Economics 69 (1): 93–105.

- Shankar, Rama. 2009. *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. Quality Press.
- Shewhart, Walter Andrew. 1931. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Macmillan And Co Ltd, London.
- Shewhart, Walter Andrew, and William Edwards Deming. 1986. *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. Courier Corporation.
- Taguchi, Genichi. 1986. *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*.
- Tsarouhas, Panagiotis. 2007. “Implementation of Total Productive Maintenance in Food Industry: A Case Study.” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Vasconcelos, Bernardo Calafate. 1986. *Gestão de Empresas - Equipamentos*.
- Vilarinho, Sandrina, Isabel Lopes, and José A Oliveira. 2017. “Preventive Maintenance Decisions through Maintenance Optimization Models: A Case Study.” *Procedia Manufacturing* 11: 1170–77.
- Wagner, Harvey M, Richard J Giglio, and R George Glaser. 1964. “Preventive Maintenance Scheduling by Mathematical Programming.” *Management Science* 10 (2): 316–34.
- Wireman, Terry. 1991. *Total Productive Maintenance - An American Approach*. Industrial Press Inc.
- Wooluru, Yerriswamy, D R Swamy, and P Nagesh. 2014. “THE PROCESS CAPABILITY ANALYSIS-A TOOL FOR PROCESS PERFORMANCE MEASURES AND METRICS-A CASE STUDY.” *International Journal for Quality Research* 8 (3).
- Yssaad, B, M Khiat, and A Chaker. 2014. “Reliability Centered Maintenance Optimization for Power Distribution Systems.” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55: 108–15.

ANEXO A: Expressões para calcular os limites das cartas de controlo

Construção dos gráficos $\bar{x}$.R

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (D.1)$$

Onde:

$\bar{x}$, é a média da amostra,

n , é o número de peças da amostra dentro de um subgrupo, e

x_n , é o valor da variável observado em cada peça.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (D.2)$$

Onde:

$\bar{\bar{x}}$, é a média total das amostras, e

m , é o número de amostras.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (D.3)$$

Onde:

R , é a amplitude numa amostra,

x_{max} , é o valor máximo dentro de uma amostra, e

x_{min} , é o valor mínimo dentro de uma amostra.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (D.4)$$

Onde:

$\bar{R}$, é a média das amplitudes das amostras, e

m , é o número total de amostras.

Para a carta de controlo $\bar{x}$:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \times \bar{R} \quad (D.5)$$

Onde:

UCL , é a linha de controlo superior, e

A_2 , é uma constante tabelada.

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \times \bar{R} \quad (D.6)$$

Onde:

LCL , é a linha de controlo inferior.

Para a carta de controlo R :

$$UCL = D_4 \times \bar{R} \quad (D.7)$$

Onde:

D_4 , é uma constante tabelada.

$$LCL = D_3 \times \bar{R} \quad (D.8)$$

Onde:

D_3 , é uma constante tabelada.

Construção dos gráficos I.MR

As fórmulas são as mesmas para as cartas de controlo $\bar{x}$.R, variando apenas o valor da amplitude móvel (MR) para a carta R e as fórmulas de UCL e LCL para I.

$$MR = |x_1 - x_{i-1}| \quad (D.5)$$

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + MR_3 + \dots + MR_m}{m} \quad (D.5)$$

$$UCL = \bar{x} + 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (D.5)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (D.5)$$

Onde,

d_2 , é uma constante tabelada.

Tabela de constantes para cartas de controlo:

n	A_2	A_3	B_3	B_4	d_2	D_3	D_4
2	1,88	2,66	0.00	3.27	1.13	0.00	3.27
3	1,02	1,95	0.00	2.57	1.69	0.00	2.57
4	0,73	1,63	0.00	2.27	2.06	0.00	2.28
5	0,58	1,43	0.00	2.09	2.33	0.00	2.11
6	0,48	1,29	0.03	1.97	2.53	0.00	2.00
7	0,42	1,18	0.12	1.88	2.70	0.08	1.92
8	0,37	1,10	0.19	1.82	2.85	0.14	1.86
9	0,34	1,03	0.24	1.76	2.97	0.18	1.82
10	0,31	0,98	0.28	1.72	3.08	0.22	1.78
11	0,29	0,93	0.32	1.68	3.17	0.26	1.74
12	0,27	0,89	0.35	1.65	3.26	0.28	1.72
13	0,25	0,85	0.38	1.62	3.34	0.31	1.69
14	0,24	0,82	0.41	1.59	3.41	0.33	1.67
15	0,22	0,79	0.43	1.57	3.47	0.35	1.65
16	0,21	0,76	0.45	1.55	3.53	0.36	1.64
17	0,20	0,74	0.47	1.53	3.59	0.38	1.62
18	0,19	0,72	0.48	1.52	3.64	0.39	1.61
19	0,19	0,70	0.50	1.50	3.69	0.40	1.60
20	0,18	0,68	0.51	1.49	3.74	0.42	1.59

ANEXO B: Normas para aerossóis de 2 e 3 componentes



Standards - English

FEA 100	Standardisation – Basic terms, principles, procedure and layout
FEA 101	This standard is replaced by ISO 90/03
FEA 201	This standard is replaced by EN14847
FEA 202	This standard is replaced by EN14848
FEA 203	This standard is replaced by EN15006
FEA 204	This standard is replaced by EN15010
FEA 206	This standard is replaced by EN14854
FEA 210	This standard is replaced by EN14849
FEA 214	This standard is replaced by EN15007
FEA 215	Aluminium aerosol containers – Dimensions of 20 mm opening in monobloc containers
FEA 216	Metal aerosol containers – Dimensions of the bearing surfaces of clinching jaws
FEA 219	Aluminium aerosol containers – Dimensions of monobloc containers with 20 mm opening
FEA 220	This standard is replaced by EN 15008
FEA 222	Metal aerosol containers – Guideline for achieving optimum clinch conditions for containers with 25.4 mm opening
FEA 223	Tinplate aerosol containers – Plastic cover caps for two and three piece necked-in containers conforming with FEA 214
FEA 224	This standard is replaced by EN 15009
FEA 225	Aluminium aerosol containers - Dimensions of rimmed aluminium aerosol containers
FEA 226	Plastic aerosol containers – Guideline for achieving optimum external crimp conditions for containers with 25.4 mm opening
FEA 401	This standard is replaced by EN 14850
FEA 405	Aerosol containers – Definition and method for measuring parallelism
FEA 406	Aerosol containers – Definition and method for measuring the planeless of the bead
FEA 421	Aerosol containers with 25.4 mm opening – Definition and measurement of cover seat height
FEA 422	Filled aerosol packs – Standard fill levels
FEA 602	Filled aerosol packs – Rapid test of the tightness of valve mechanisms and their attachment to containers with 25.4 mm opening
FEA 603	Filled aerosol packs – Guidelines to test long-term preservation and to measure the loss of weight
FEA 604	Filled aerosol packs – Measurement of the internal pressure
FEA 605	Filled aerosol packs – Measurement of the density of aerosol formulations
FEA 606	Filled aerosol packs – Water bath testing – Verification of conformity with legislation
FEA 608	this standard is replaced by point 6.3.3 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 609	this standard is replaced by point 6.3.1 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 610	this standard is replaced by point 6.3.2 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 615	Glass aerosol containers – Drop test
FEA 621	Aerosol containers – Measurement of internal pressure resistance of empty containers without valves
FEA 623	Filled aerosol packs – Simplified method to measure mechanical resistance of metal and plastic containers fitted with valve
FEA 641	Aerosol gaskets – Test for material selection
FEA 642	Aerosol gaskets – Olfactive control test

ANEXO C: Plano de Inspeção e Ensaio para fundos BT 50

		Ficha de Controlo Q21.L072.7					
Plano de Inspeção e Ensaio							
Operação	Características a verificar	Quando	Quanto	Quem	Como	Onde Regista	Ficha de Monitorização
I ₀	Rastreabilidade	- Arranque - Retomar ordem interrompida - Mudança de turno - Aviamento adicional	NA	Operador	Q21.I564	No mapa de transporte, conforme a IT	NA
I ₁ Controlo das 1 ^{as} Amostras	Controlo Dimensional	Arranque	NA	Operador	Q21.I145	Q21.M097	De acordo com a Ficha de Controlo respetiva
	Peso de borracha - húmido - seco				Q21.I150	Sistema informático Q21.M097	Q21.L001
	Porosidade (Só para Verniz Interior) Utilizar sulfato de cobre.				Q21.I149	Q21.M097	Q21.L018
	Deformação				Q21.I085	Q21.M051	Q21.L073
	Controlo Visual				Q21.I147	Q21.M097	Q21.L074
I ₂ Controlo de Pontos Críticos	Controlo Dimensional	4 / 4 h	5 Amostras (por pista)	Operador	Q21.I145	Q21.M097	De acordo com a Ficha de Controlo respetiva
	Peso de borracha - húmido - seco	2 / 2 h	5 Amostras por máquina		Q21.I150	Sistema informático Q21.M097	Q21.L001
	Porosidade (Só para Verniz Interior)	30 em 30 min * (Sulfato)	5 Amostras (por pista)		Q21.I149	Q21.M097	Q21.L018
		4 em 4 horas (Eletrocondutividade)	16 Amostras (por pista)			Q21.M051	
	Deformação	Por ordem de fabrico e/ou mudança de balote	5 Amostras (por pista)		Q21.I085		Q21.L073
	Controlo Visual	15/15 min* e por ordem de fabrico	5 Amostras (por pista)		Q21.I147	Q21.M097	Q21.L074
* Analisar no tempo indicado e regista no mapa de produção 1/1 h Definição de "Arranque" - Início da Ordem de Fabrico; Retomar Ordem interrompida; Mudança de Turno; Após paragens superiores a 4 horas							
Elaborado por: Ana Martins		Aprovado por: Sofia Martins		Âmbito de Aplicação:			
Data: 17-12-2018 Technical Quality		Data: 28-12-2018 Quality Leader AE		Estampagem Aerossóis - AE2			

ANEXO D: Registo Rotinas Qualidade para os fundos

Registo Rotinas Qualidade - AE2

DATA: _____ HORA: _____ OPERADOR: _____
 LINHA: _____ FORMATO: _____ PRESSÃO: _____
 MATERIAL: _____ LOTE: _____ BALOTE: _____ FORNECEDOR: _____

CONTROLO BORRACHA		
Peso sem borracha	Esq.	
	Dir.	
Peso com borracha	Esq.	
	Dir.	
Peso após forno	Esq.	
	Dir.	
Peso Húmido	Esq.	
	Dir.	
Peso seco	Esq.	
	Dir.	

DEFORMAÇÃO	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista direita	
Pista direita	
Pista direita	

CONTROLO DIMENSIONAL			
Altura Total		Altura Orleado	
Pista esquerda		Pista esquerda	
Pista esquerda		Pista esquerda	
Pista esquerda		Pista esquerda	
Pista direita		Pista direita	
Pista direita		Pista direita	
Pista direita		Pista direita	

Abertura Orleado	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista direita	
Pista direita	
Pista direita	

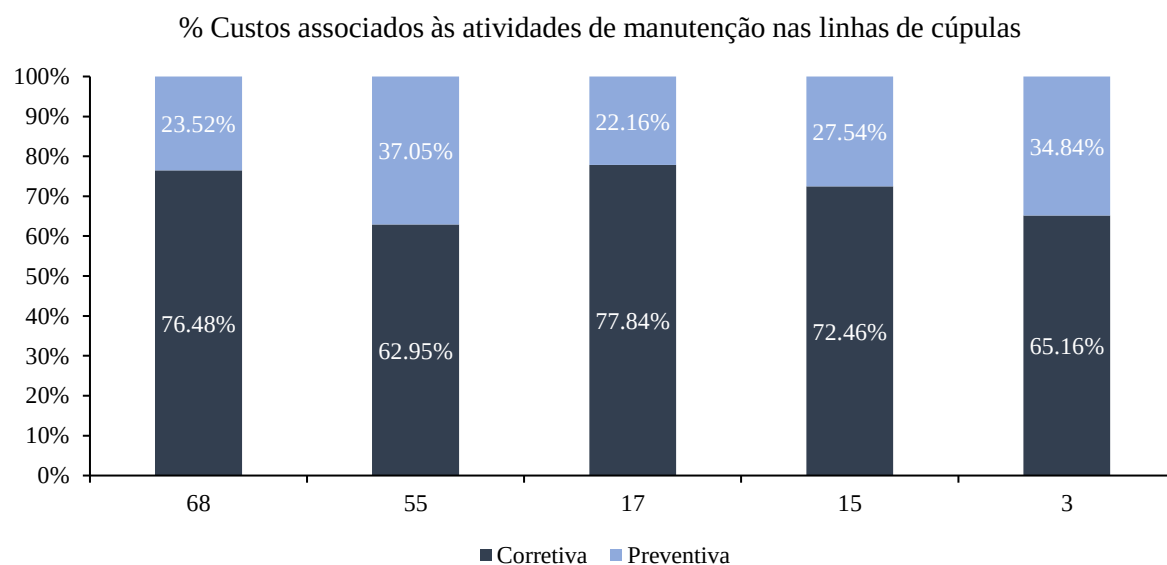
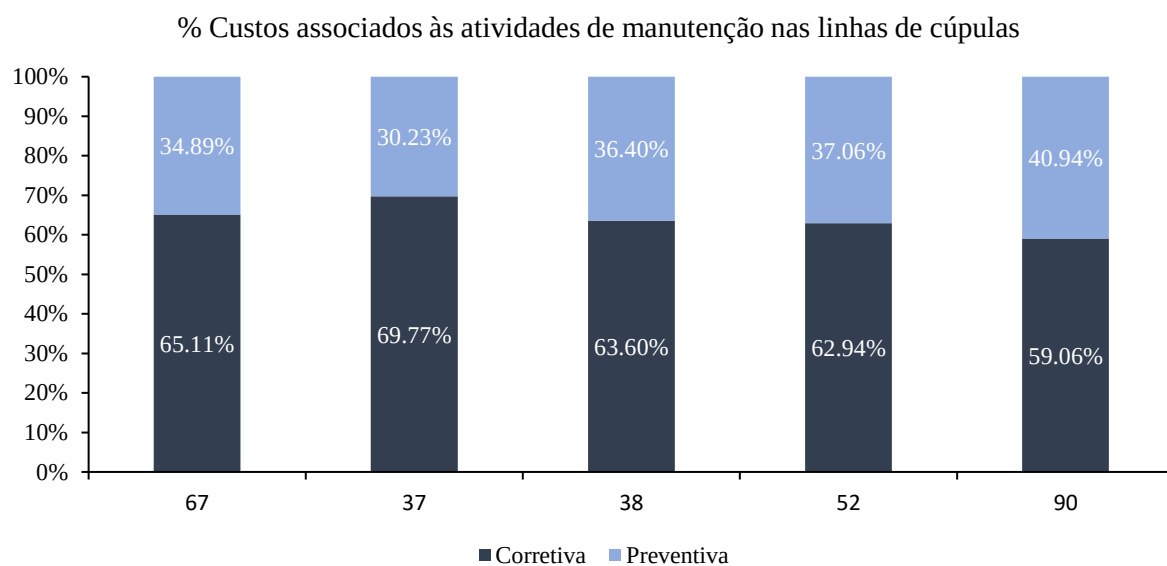
Diâmetro Exterior do Orleado	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista esquerda	
Pista direita	
Pista direita	
Pista direita	

Porosidade			
Sulfato de Cobre		Porosímetro	
Pista esquerda		Pista esquerda	
Pista direita		Pista esquerda	
		Pista esquerda	
		Pista direita	
		Pista direita	
		Pista direita	

Controlo visual		
Riscos		
Defeito no orleado		
Amolgadelas		
Sujidade		
Poros		
Outro		

Q21.M165.2/1

ANEXO E: Percentagem de custos associados às atividades de manutenção



ANEXO F: Dados recolhidos para os testes de R&R

Pesagens efetuadas na balança do chão de fábrica

	Operador 1	Operador 2	Operador 3
Componente 1	38,01	38,01	38,02
	38,02	38,02	38,02
	38,01	38,03	38,01
Componente 2	38,35	38,35	38,35
	38,37	38,37	38,37
	38,37	38,37	38,36
Componente 3	38,26	38,26	38,26
	38,25	38,25	38,25
	38,24	38,27	38,27

Pesagens efetuadas na balança do laboratório

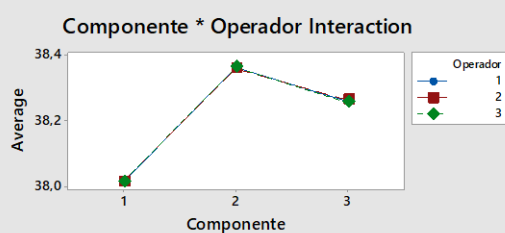
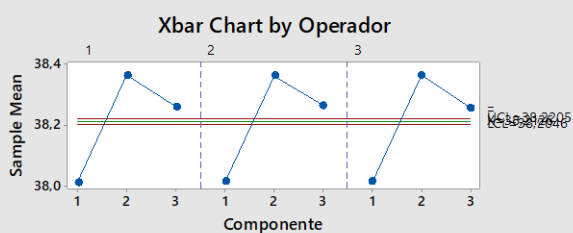
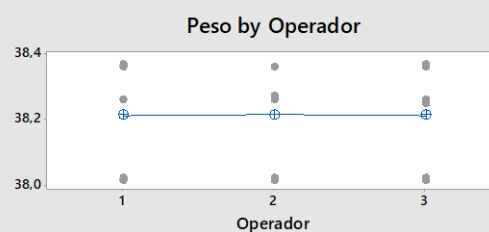
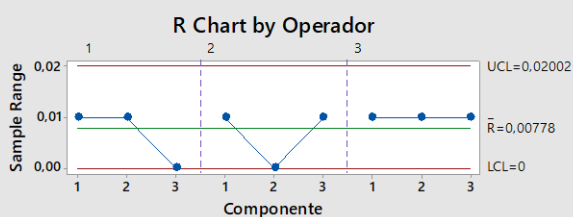
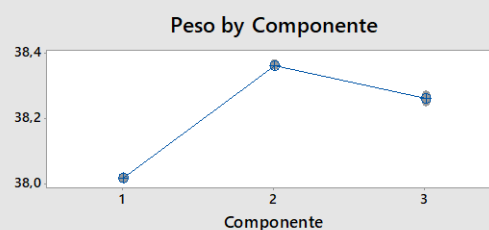
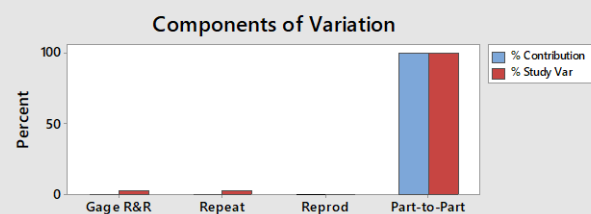
	Operador 1	Operador 2	Operador 3
Componente 1	38,01	38,01	38,01
	38,02	38,02	38,02
	38,01	38,02	38,02
Componente 2	38,36	38,36	38,36
	38,37	38,36	38,36
	38,36	38,36	38,37
Componente 3	38,26	38,27	38,26
	38,26	38,26	38,26
	38,26	38,26	38,26

ANEXO G: Estudo R&R para a balança do laboratório

Gage R&R (ANOVA) Report for Peso

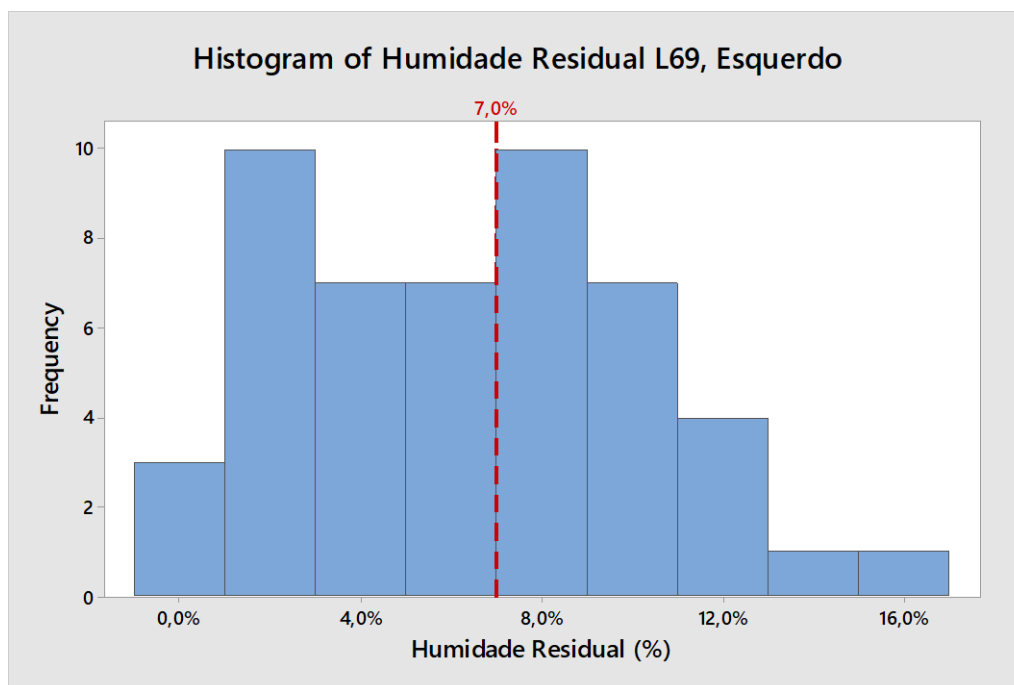
Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:

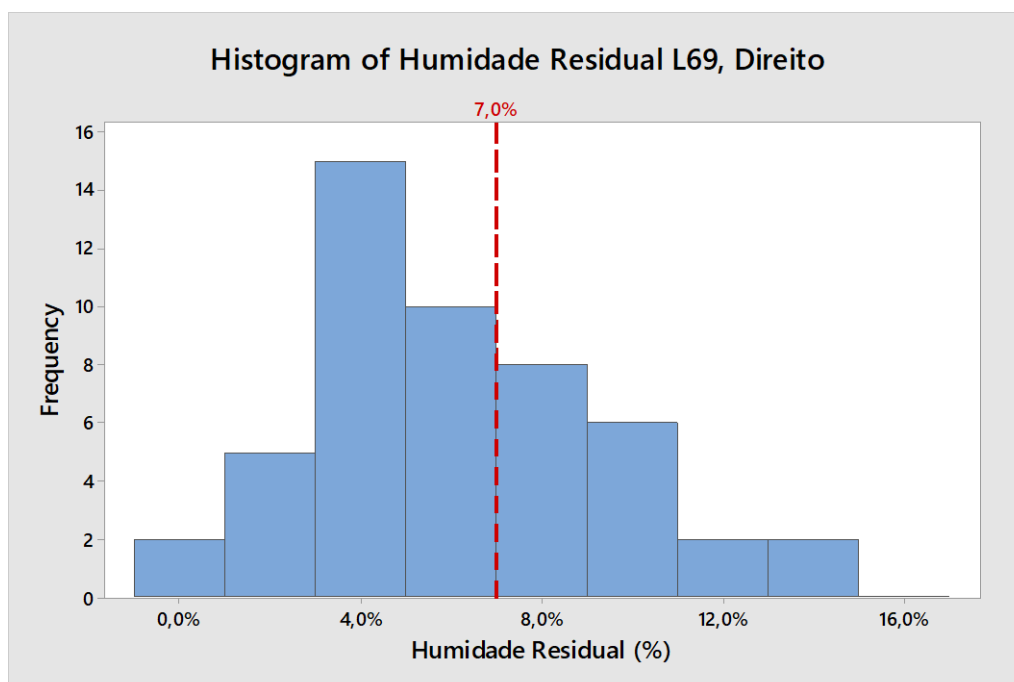


ANEXO H: Histogramas Humidade Residual L69

Histograma da Humidade Residual na L69, Segmento Esquerdo



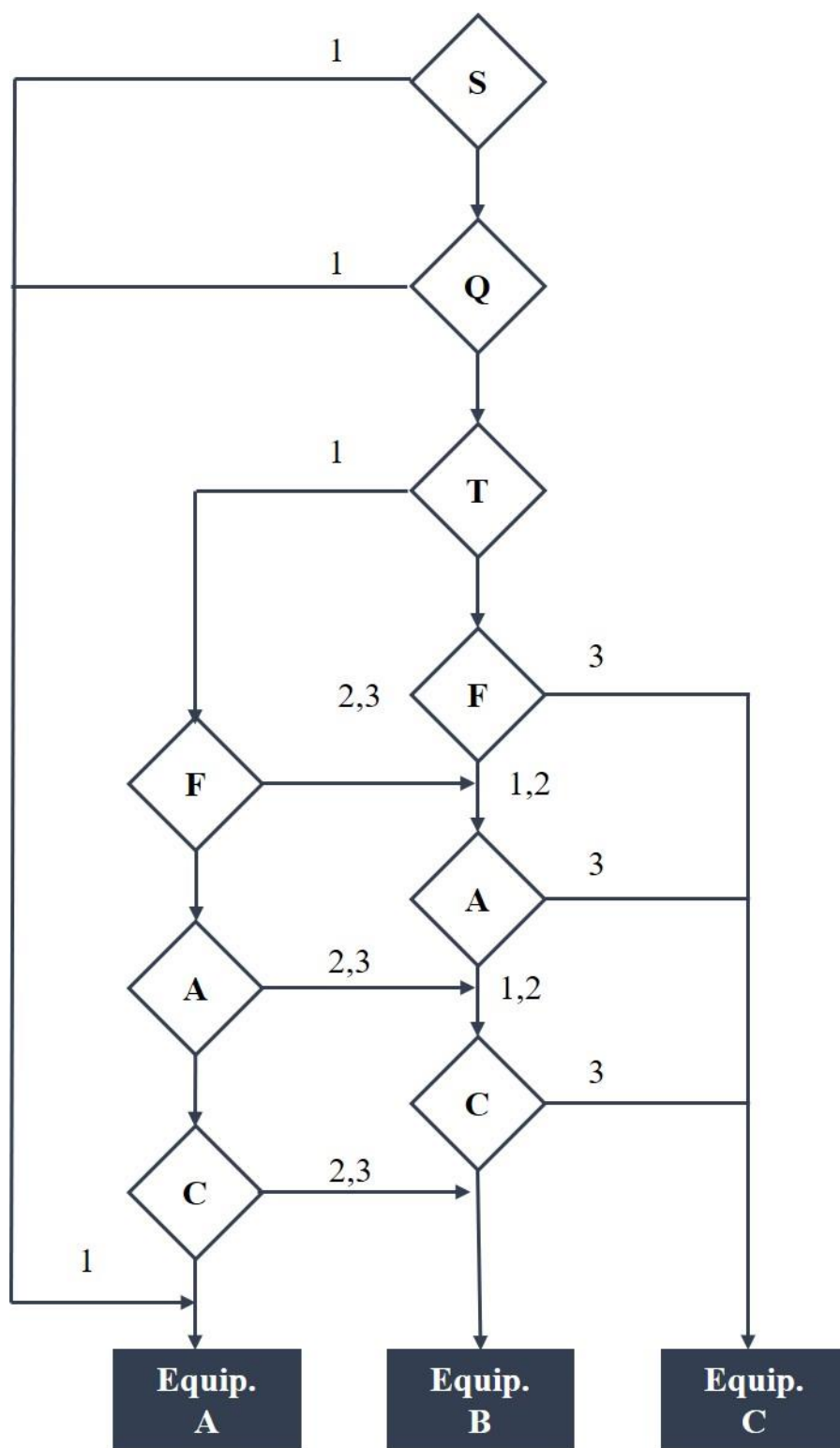
Histograma da Humidade Residual na L69, Segmento Direito



ANEXO I: Matriz de classificação segundo diferentes critérios de avaliação

Critério de Avaliação	Classe 1	Classe 2	Classe 3
S Segurança	Elevados riscos de segurança.	Lesões ligeiras de segurança.	Sem influencia na segurança.
Q Qualidade	Compromete a qualidade do produto.	Afeta a qualidade do produto.	Não afeta a qualidade do produto.
A Tempo médio entre avarias	Baixo intervalo de tempo entre avarias.	Médio intervalo de tempo entre avarias.	Elevado intervalo de tempo entre avarias.
F Fluxo de produção	Interrupção de todo o processo.	Interrupção parcial do processo.	Não afeta o fluxo de produção.
C Custo de manutenção	Custo de manutenção elevado.	Custo de manutenção médio.	Custo de manutenção baixo
T Taxa de ocupação	Contínuo.	Intermitente.	Esporádico.

ANEXO J: Fluxo de decisão sobre a criticidade dos equipamentos



ANEXO K: Gráficos de dispersão entre peso húmido e peso seco na L69

Gráfico de dispersão entre peso húmido e peso seco na linha 69, segmento esquerdo

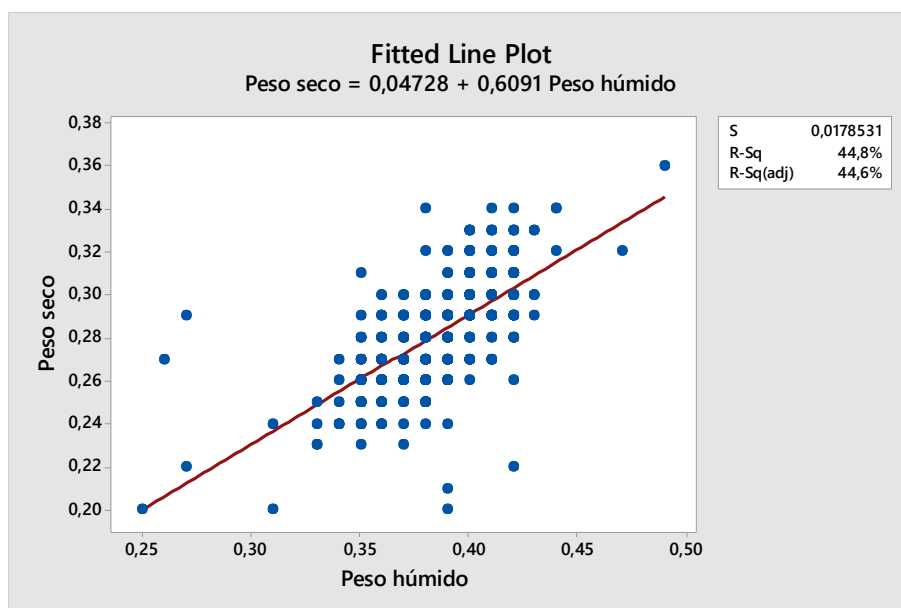
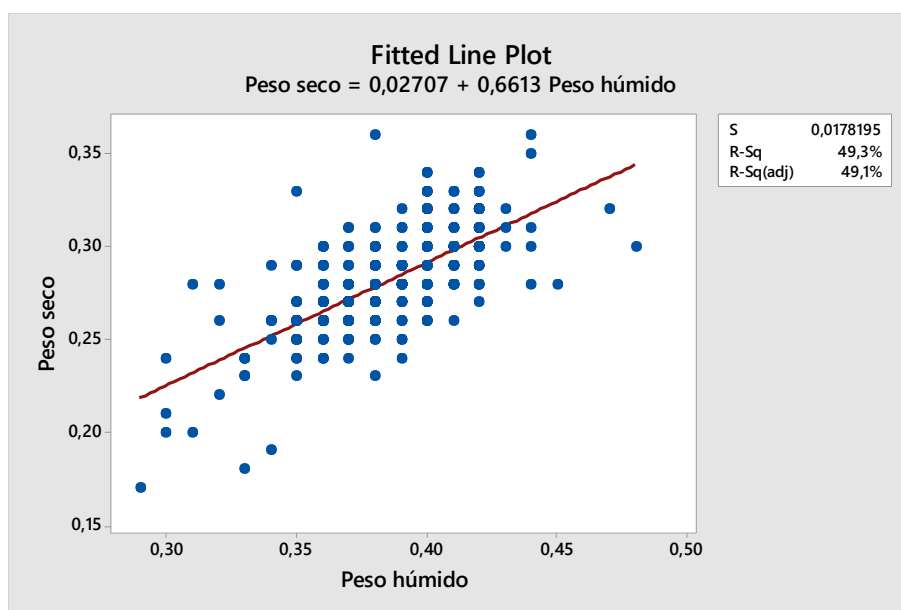


Gráfico de dispersão entre peso húmido e peso seco na linha 69, segmento direito



ANEXO L: Exemplo da folha Excel de registo para as linhas de produção de cúpulas

Data		Hora				Gravar Dados	Apagar Dados
Linha		Formato				Voltar Menu	
Material		Lote			Fornecedor		

Controlo Borracha			
Peso sem borracha	Frete		
Peso com borracha	Frete		
Peso após forno	Frete		
Peso húmido	-	Frete	-
Peso seco	-	Frete	-

Deformação		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	

Controlo Dimensional			
Diâmetro exterior do rebordo		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	
Altura do rebordo (ponto de contacto)		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	
Altura da caixa de cravação		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	
Altura do orleado		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	

Altura total		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	
Diâmetro interior do rebordo		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	
Diâmetro exterior do orleado		Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	

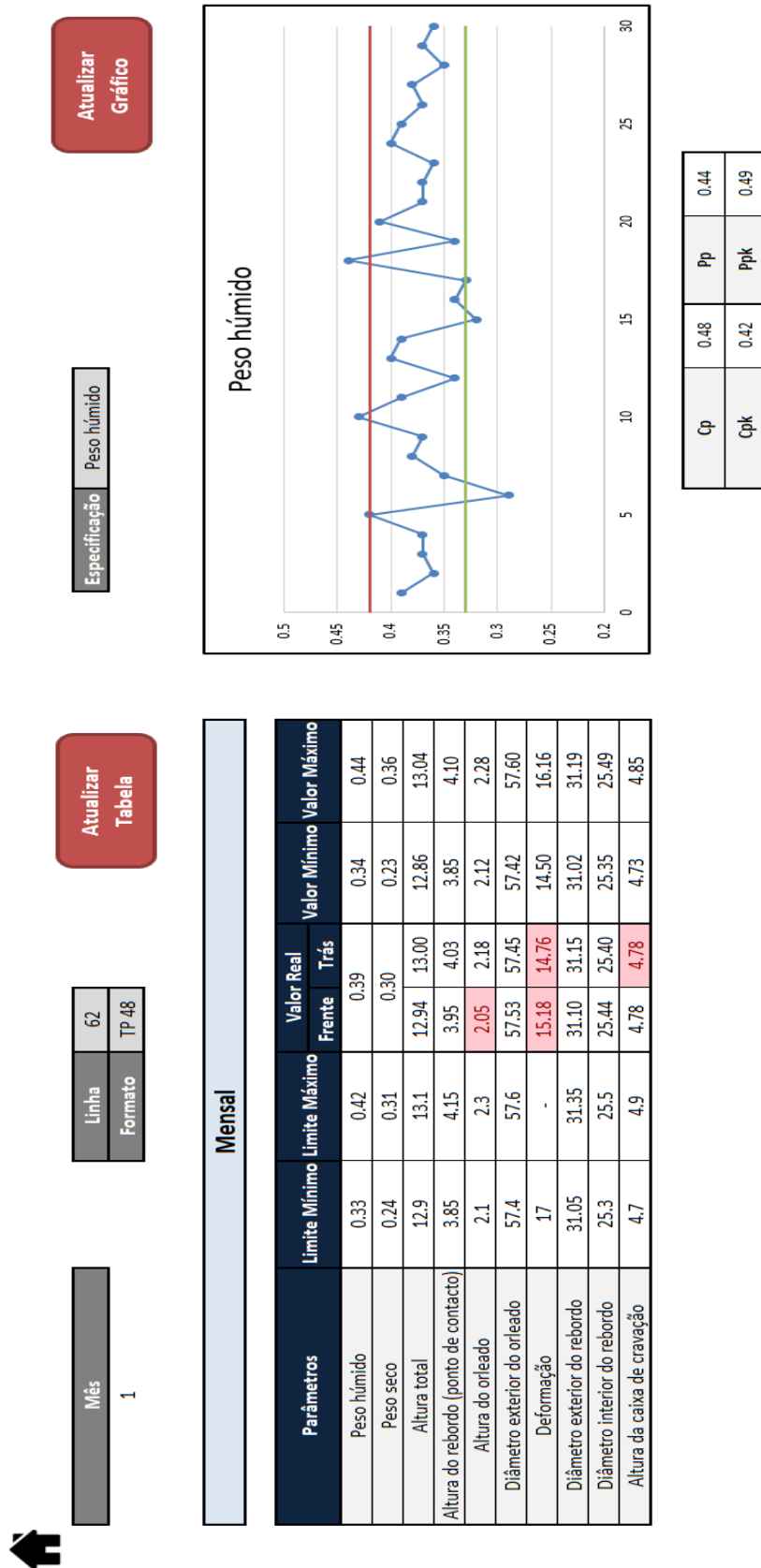
Porosidade			
Sulfato de Cobre	Frete		
	Trás		

Porosímetro	min. 30	Frete	
		Frete	
		Frete	
		Trás	
		Trás	

Controlo Visual			
Sujeidade/pólos			
Riscos			
Defeito no rebordo			
Marcas (aperta,...)			
Poros			
Outro			

Check List 5s			
Locais definidos e identificados material a entrar			
Locais definidos e identificados material a sair			
Locais definidos e identificados para material embalagem			
Superfície e zonas de trabalho limpas			
Superfície e zonas de trabalho identificadas e organizadas			
Calibres identificados e localizados corretamente			
Agentes pessoais locais definidos			
Zonas de passagem desobstruídas			
Plano de limpeza preenchido e avaliado			

ANEXO M: Exemplo da folha Excel para monitorização mensal



ANEXO N: Folha de registo de serviços de manutenção

Folha de Registo de Serviço



Equipamento: _____	NºOrdem: _____
Componente: _____	Linha: _____
Descrição da necessidade: _____	

Data da Avaria	Hora da Avaria	H. Início Intervenção	H. Fim Intervenção

Procedimento	Materiais Utilizados

Causa Provável: _____

Equipa: _____

ANEXO O: Excerto plano de manutenção preventiva L62

Máquina de aplicação de borracha

Nº Componente	Tarefas	Operação	Periodicidade
21001357	12	Manutenção geral à máquina da borracha	6 meses
93007397	4	Substituir óleo do Carter	1 ano
93007396	8	Substituir roletos dos braços	3 meses
93007398	7	Substituir correia do motor mandril	6 meses
93007397	8	Substituir correia do motor principal	8 meses
93007395	6	Substituir correias dos carretos do sem-fim	6 meses
93007394	6	Revisão reguladores	5 meses
41-10966	4	Substituir agulha	4 meses
41-10968	4	Substituir esfera	4 meses
41-31649	4	Substituir bico injetor	3 meses
41-10965	5	Substituir bobine	5 meses
41-10967	5	Substituir filtros	3 meses

ANEXO R: Ferramenta para monitorização das atividades de manutenção



Equipamento

Máquina Borracha

Início da Avaria

June 16, 2020

9

15

Componentes Necessários

Agulha

Bico Injetor

Esfera

Material

Anilhas

Casquilhos

Início da Intervenção

June 16, 2020

11

20

Estado da Intervenção

Em Progresso

Guardar