

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Carina Santos Pedrosa

OTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS DE
MONITORIZAÇÃO DO PROCESSO DE
INJEÇÃO NA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS

Dissertação de Mestrado na área científica de Química – Controlo da Qualidade e Ambiente co-orientada pelos Professores Doutor Carlos Alberto Lourenço de Serpa Soares e Doutor Jorge Luís Gabriel Ferreira da Silva da Costa Pereira e pela Mestre Raquel Soares Bregieiro e apresentada ao Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Julho de 2022



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra

Otimização de Métodos de Monitorização do Processo de Injeção na Indústria de Plásticos

Carina Santos Pedrosa

Dissertação de Mestrado na área científica de Química – Controlo da Qualidade e Ambiente co-orientada pelos Professores Doutor Carlos Alberto Lourenço de Serpa Soares e Doutor Jorge Luís Gabriel Ferreira da Silva da Costa Pereira e pela Mestre Raquel Soares Bregieiro e apresentada ao Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Julho de 2022

Agradecimentos

O trabalho concebido durante o Projeto Industrial e aqui exposto só foi possível graças ao apoio e colaboração constante e incansável de algumas pessoas e às quais presto o meu agradecimento a seguir.

Em primeiro lugar agradeço à Maxiplás – Plásticos de Engenharia, Lda, pelas condições que proporcionou para a realização do meu Projeto Industrial e por me ter inserido numa equipa tão profissional e humana como foi o da equipa da qualidade.

Aos técnicos de injeção, às pessoas do departamento da qualidade e do departamento da produção e a todos os colaboradores que de alguma forma influenciaram o meu Projeto Industrial, um muito obrigado por partilharem comigo o conhecimento que têm dos processos de injeção e pela paciência.

Aos meus orientadores, quero deixar um agradecimento especial. Aos Doutores Carlos Serpa e Jorge Costa Pereira pela orientação e apoio durante todo o estágio. À Raquel Bregieiro, minha supervisora de estágio, que para além do acompanhamento constante e apoio durante todo o projeto, ainda partilhou um conhecimento com uma perspetiva única relativa a este mercado, sem a qual não teria sido possível a minha total integração e realização deste Projeto Industrial.

Não posso deixar de fazer referência à Elsa Silva, a pessoa que mais me acompanhou, ajudou, e que partilhou comigo não só conhecimento, como teve contribuições preciosas para o meu desenvolvimento pessoal.

A toda a minha família, namorado e amigos que me apoiaram sempre de forma incondicional, ajudando a ultrapassar quaisquer obstáculos que foram aparecendo durante este percurso. Não teria conseguido sem eles.

Um obrigado nunca será suficiente para demonstrar a gratidão que tenho por vos ter na minha vida.

Resumo

Os principais objetivos deste Projeto Industrial consistiram na análise e acompanhamento do processo de injeção de plástico da empresa Maxiplás – Plásticos de Engenharia, Lda. Esta análise tem como finalidade a identificação e o desenvolvimento de metodologias de melhoria do processo, tais como, a identificação de características chave do produto final e produtos intermédios e a otimização de processos de controlo e monitorização.

Assim como outros sectores, o sector da indústria automóvel é um mercado exigente, sendo por isso imprescindível que todos os processos ligados a este sector estejam de acordo com as normas requeridas pelo meio em questão. Para isso, a Maxiplás procura constantemente, métodos de resolver eficazmente os problemas que surgem e, principalmente, de os otimizar de modo que estes não só consigam detetar problemas, como que os evitem eficazmente.

Fruto destes objetivos, procedeu-se a uma pesquisa bibliográfica, na qual foram encontradas metodologias de análise estatística, de controlo e de monitorização de processos, eficazmente implementadas noutras empresas de indústria automóvel. Relativamente à análise estatística, o método que se destacou foi a análise multivariada, uma ferramenta estatística bastante forte, nomeadamente na área do controlo de qualidade. Dentro das metodologias encontradas destacaram-se o Autocontrolo da massa das peças e as Auditorias de Kamishibai.

De modo fazer frente a problemas encontrados no processo de fabrico, analisou-se os parâmetros que mais alteravam as características físicas das peças, como a massa e a dimensão. E ainda se procedeu à otimização das metodologias de Autocontrolo, como método de deteção de problemas que surjam durante o processo de injeção, e o desenvolvimento das auditorias de Kamishibai, como métodos de identificação e resolução dos problemas identificados.

De um modo geral, com este projeto conseguiu-se obter resultados positivos relativamente à implementação do Autocontrolo e das Auditorias de Kamishibai, tendo com estes sido possível se verificar tanto que o Autocontrolo é uma ferramenta de controlo de processos capaz de detetar variações que ocorram nestes, como que as auditorias não só esclareceram quais eram as principais fontes de não conformidades dos processos como tiveram um papel de melhoria por parte do pessoal responsável, com reduções na percentagem de não conformidades estimadas em 91 %.

Palavras chave

Processo de Injeção; Indústria Automóvel; Métodos de Controlo; Autocontrolo; Auditorias de Kamishibai;

Abstract

The main objectives of this Industrial Project consist of analyse and monitoring the plastic process of the Maxioplás – Plásticos de Engenharia. This analysis has objectives like the identification and optimization of methodologies that allow the process improvement. Essentially, the methodologies optimized in this project will be the characterization of the final product and the intermediate products, like methods of control and monitoring of the injection process.

The automotive industry is one of the most demanding sectors on the market, so it is necessary that all those linked to this sector are in accordance with the standards required by the environment in question. For that, Maxioplás is constantly looking for methods to solve problems effectively and, mainly, to optimize the way that they not only can solve problems effectively, but also be able to avoid them.

As a result of these objectives, bibliographic research was carried out, in which methodologies of statistical analysis and control of processes, effectively implemented in other companies of the automotive industry were found. The multivariate analysis was the method that stood out regarding the statistical analysis methods. Within the control and monitoring methodologies, the self-control of the mass and the Kamishibai audits were the ones selected for this study.

In order to deal with problems encountered in the manufacturing process, the parameters that most altered the physical characteristics of the parts were analyzed, such as mass and dimension of the injected products. In addition, the self-control methodologies were optimized, as a method of detecting problems that arise during the injection process, and the development of Kamishibai audits, as methods of identifying and solving the problems identified.

In general, with this project, it was possible to obtain positive results regarding the implementation of Self-control and Kamishibai Audits. It was possible to verify that Self-control is a process control tool capable of detecting variations that are likely to occur in these processes. Not only the Kamishibai Audits detected the main causes of the process non-conformities, but also played a role in improving the composition of the part of the increase on the responsibility sense of the company's workers. This last method was even responsible for reductions in the percentage of non-conformities at 91 %.

Keywords

Injection Process; Automotive Industry; Control Methods; Self-Control; Kamishibai Audits

Índice

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO	3
ABSTRACT	5
LISTA DE ABREVIATURAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 INDÚSTRIA DE COMPONENTES AUTOMÓVEIS EM PORTUGAL	11
1.2 INTRODUÇÃO DA EMPRESA	11
1.3 OBJETIVOS DO PROJETO INDUSTRIAL	13
1.4 METODOLOGIA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 PROCESSO DE INJEÇÃO	16
2.1.1 Almofada da massa	17
2.1.2 Tempo de injeção	17
2.1.3 Tempo de ciclo	17
2.2 MATERIAIS POLIMÉRICOS	18
2.2.1. Termoplásticos	19
2.3 CONTROLO DE QUALIDADE	20
2.3.1 Ciclo PDCA	21
2.3.2 Resolução de Problemas	22
2.3.2.1 Metodologia 8D	22
2.3.2.2 Técnica dos ‘5 Porquês’	23
2.3.2.3 Diagrama de Ishikawa	24
2.3.3 Indicadores de qualidade da produção	25
2.3.3.1 OEE	25
2.4 AUTOCONTROLO	26
2.5 ANÁLISE DE FATORES	26
2.6 ESTUDO DA CAPABILIDADE	28
2.7 MONITORIZAÇÃO DO PROCESSO	30
2.7.1. Auditorias de Kamishibai	31
3 CASO DE ESTUDO	32
3.1 EQUIPA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE 1º NÍVEL	32
3.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS DE FABRICO	35
3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO AUTOCONTROLO	36
3.4 AUDITORIAS DE KAMISHIBAI	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 ANÁLISE MULTIVARIADA	42
4.1.1 Massa da peça	42

4.1.2 Dimensão da peça	45
4.1.3 Interdependência das respostas	48
4.2. AUTOCONTROLO	50
4.2.1. Molde M649	50
4.2.2. Molde M820	52
4.2.3. Molde M972	54
4.2.4. Validação da Otimização	58
4.3. AUDITORIAS DE KAMISHIBAI	61
5. CONCLUSÃO	64
BIBLIOGRAFIA.....	65

Lista de abreviaturas

5S – Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke
ABS – Acrílico Butadieno Estireno
APQP - Advanced Product Quality Planning
Cav.1/2 - Cavidade 1/2
Cp – Índice de Capacidade potencial
Cpk - Índice de Capacidade Relativo à Localização
ERP – Equipa de Resolução de Problemas
FAM – Ficha de Afinação da Máquina
FMEA – Failure mode and effects analysis
LIE – Limite Inferior de Especificação
LSE - Limite Superior de Especificação
M - Molde
MOLS - Método de Mínimos Quadrados Multivariado
NC – Não conformidades
NOK – Não conforme
OEE – Overall Equipment Effectiveness
PA - Poliamida
PC - Policarbonato
PE – Polietileno
PIB – Produto Interno Bruto
POM – Poli (Óxido de metileno)
PP – Polipropileno
PPAP - Production part approval process
PPS - Poli (sulfureto de p-fenileno)
PS – Poliestireno
PDCA – Plan Do Check Act
QI – Quick Image
R&R - Repetibilidade e Reprodutibilidade
RSP - Reuniões de Resolução de Problemas
SPC - Statistical Process Control
UE – União Europeia

1. Introdução

Atualmente, uma das principais prioridades políticas da União Europeia (UE) é alcançar uma economia competitiva através de um desenvolvimento elevado e sustentado da sua produtividade. As empresas têm de ser flexíveis, criativas e apostar na melhoria contínua de modo a darem resposta à competitividade existente no mercado, que cresce face ao rápido desenvolvimento da era digital e das criações tecnológicas.

O aumento contínuo desta competitividade cria um desafio constante às empresas, que têm de conseguir conciliar a redução dos custos com a colocação de produtos e serviços que igualem ou excedam os padrões de qualidade exigidos pelo mercado, e que proporcionem os rendimentos necessários às despesas existentes e ao crescimento da empresa¹.

1.1 Indústria de Componentes Automóveis em Portugal

A indústria de componentes automóveis em Portugal é um sector muito representativo na economia. Em 2019, esta indústria era responsável por cerca de 7 % da empregabilidade das indústrias manufadoras (46.500 empregos) e 11 % do total dos produtos exportados pelo país. Cerca de 85 % da produção neste sector foi exportada em 2019, tendo contribuído com 5 % do Produto Interno Bruto (PIB), com um valor de 7,6 biliões de euros².

Devido à pandemia, esta indústria foi uma das muitas que sofreram grandes quebras tanto na produção como ao nível das exportações. Em 2020, a produção de automóveis teve uma quebra de 23,6 %, facto que se refletiu nas indústrias de componentes de automóveis. Relativamente às exportações, o sector automóvel sofreu uma quebra de 5,8 % quando comparado ao mesmo período de 2019. Esta ocorrência deveu-se a variados fatores, dos quais se destaca as dificuldades levantadas aos transportes entre países e também devido à escassez e aumento de custos das matérias primas⁴.

1.2 Introdução da empresa

O presente trabalho foi desenvolvido numa empresa portuguesa, a Maxioplás – Plásticos de Engenharia, Lda, especializada no processamento de termoplásticos de engenharia. Fundada em 1989 e sediada neste momento na zona Industrial Manuel da Mota em Pombal, a Maxioplás tem como principal objetivo produzir componentes plásticos para a Indústria, através de processos de injeção (Figura 1.1). Em 1990 inseriu-se no mercado inglês através da aquisição do seu primeiro cliente, a Duracell Batteries, Ltd, com a produção e montagem de uma gama de lanternas para bicicletas. Nos primeiros meses iniciou uma colaboração, que se mantém até aos dias de hoje, com a Vulcano, atualmente conhecida como Bosch Termotecnologia. Esta colaboração despoletou a inserção e reconhecimento como uma empresa especializada no processamento de termoplásticos de engenharia eletrónica e automotiva. Atualmente a injeção tem como principal foco a indústria automóvel, com o objetivo de corresponder aos pedidos dos

seus principais clientes, tais como: Bosch, Audi, Renault, Porsche, Scania, SMRC, Mercedes-Benz e muitos outros.

Em 2006, teve início a parceria com o Grupo Socem, um grupo global com escritórios e unidades de produção em Portugal, no México, no Brasil e na China. Atualmente, o grupo é constituído por 11 empresas, as quais contribuem para que o Grupo Socem seja considerado um líder na engenharia dos moldes. Esta parceria impulsionou a expansão produtiva da Maxiplás, tanto com a aquisição de novos equipamentos, como com novos processos de produção. Desde 2019, e com o aumento das instalações, a empresa para além de ter adquirido novas máquinas, o que lhe conferiu uma gama de máquina de injeção de diversas tonelagens, das 35 às 1500 toneladas, também melhorou a automatização e robotização, através do investimento em novas tecnologias.

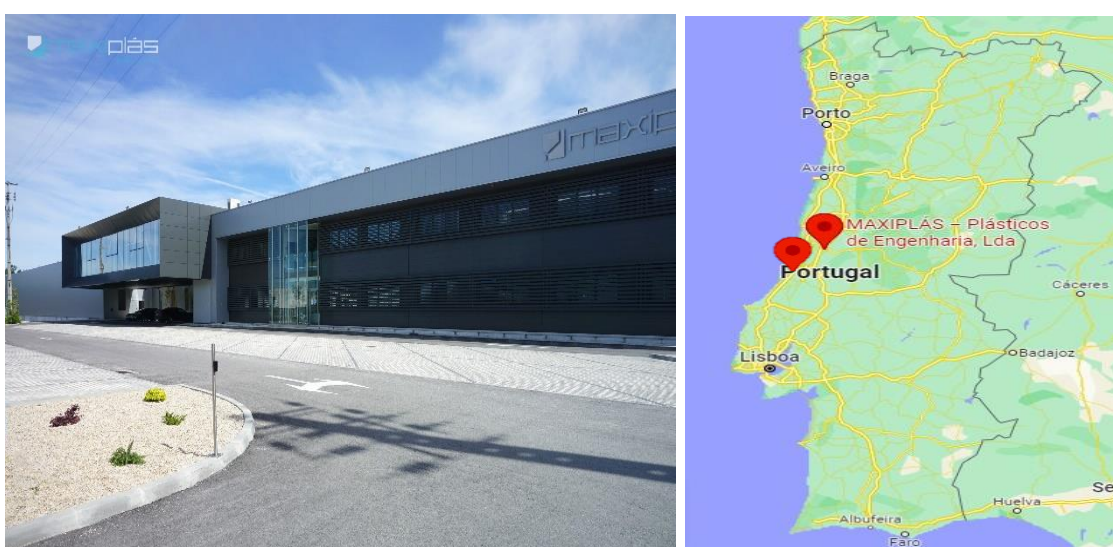


Figura 1.1. Imagem da Maxiplás e a sua localização geográfica, bem como do Grupo Socem.

Aliado a este crescimento e com vista a alcançar uma capacidade competitiva a nível europeu, a Maxiplás tem sempre como objetivo principal a garantia da satisfação e exigência contínua de cada cliente. Para isso, a empresa garante a produção de peças de excelência (Figura 1.2) através do desenvolvimento, organização e sistematização de atividades capazes de assegurar a capacidade de fornecimento de produtos que cumpram as exigências, tanto dos clientes, como das regras de boas práticas aplicáveis à indústria de injeção de plástico, acabamento de superfícies e montagem de componentes. Com este objetivo como prioridade, tem havido uma crescente melhoria no controlo de qualidade das peças.



Figura 1.2. Exemplos de algumas peças plásticas produzidas na MaxiPlás-Plásticos de Engenharia, Lda; no lado esquerdo peças relacionadas com o sistema de luzes e refletores e do lado direito um canal de arejamento do habitáculo da viatura.

O sistema de gestão da qualidade é certificado pelas normas ISO 9001:2015 e IATF 16949:2016, sendo assegurado o cumprimento rigoroso de todos os requisitos de qualidade exigidos tanto pelas normas como pelos clientes.

Diariamente a equipa de qualidade garante avaliações e inspeções aos produtos no decurso da produção, com o uso das seguintes técnicas: *Advanced Product Quality Planning* (APQP), *Failure mode and effects analysis* (FMEA), *Statistical Process Control* (SPC), *Production part approval process* (PPAP), Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R), 5S e Estudos de Capacidade do Processo. Estas técnicas de garantia de qualidade são suportadas por um laboratório de metrologia moderno, equipado com a mais recente tecnologia e equipamentos para controlo dimensional, tais como a máquina de Quick Image (QI), *Computed Tomography* (CT), *Coordinate Measuring Machine* (CMM).

1.3 Objetivos do Projeto Industrial

A presente dissertação de mestrado é direcionada para a análise de determinados produtos cuja produção se revelou difícil ou ineficiente (casos de estudos), com o intuito de perceber quais as causas que poderão estar na origem das peças não conformes. Para tal, foram definidos os seguintes objetivos do Projeto Industrial:

- Revisão bibliográfica de processos, metodologias e ferramentas de melhoria de processos produtivos em geral e em unidades de injeção de plástico;
- Acompanhamento e análise do processo de injeção de plástico;
- Controlo de processo e de produto final;
- Identificação e recolha de dados chave no processo de injeção;
- Identificação de características chave do produto final e produtos intermédios;
- Investigação da correlação entre variáveis chave no processo de injeção e características do produto final e produtos intermediários;
- Otimização de Metodologia de Resolução de Problemas no processo de injeção, em geral/particular;

- Desenvolvimento de novos métodos de controlo e monitorização do processo de injeção;
- Análise de resultados e respetivas conclusões.

As atividades acima mencionadas são dinamizadas em casos de estudo bem identificados no capítulo 3.

1.4 Metodologia

Face aos objetivos definidos anteriormente, o Projeto Industrial foi dividido em 7 fases sequenciais distintas e que correspondem também à organização da presente dissertação. Nesta secção é apresentada (Figura 1.3) e explicada a metodologia seguida.

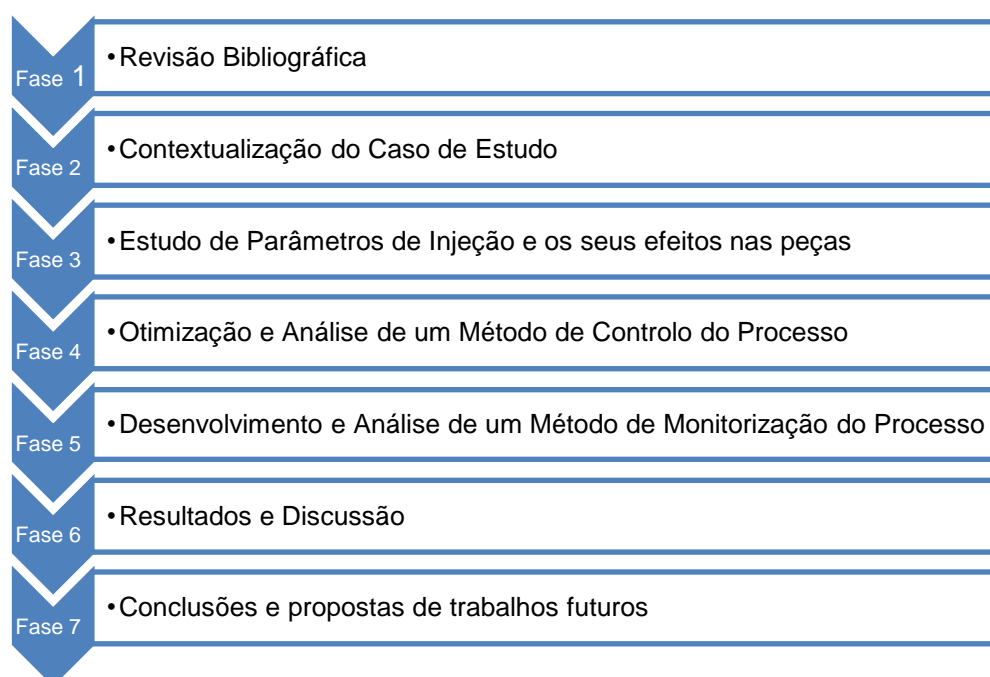


Figura 1.3. Esquema exemplificativo da Metodologia seguida no Projeto Industrial e que corresponde à organização da presente dissertação.

Numa primeira fase, é realizada a revisão bibliográfica, que se inicia com uma breve explicação dos processos de injeção e das características dos termoplásticos, seguida da contextualização dos métodos de controlo e acompanhamento da qualidade dos produtos, já existentes na empresa e a abordagem de potenciais metodologias a serem implementadas na indústria.

Na segunda fase é efetuada uma contextualização do caso de estudo, através da justificação fundamentada das propostas de implementação de metodologias mais relevantes na melhoria dos processos de injeção.

A terceira fase é direcionada para a recolha de dados, através de pesagens e controlo dimensional de peças produzidas na Maxiplás, e o estudo do impacto de parâmetros de injeção nos requisitos dimensionais e visuais das peças. A fase seguinte, fase 4, consistiu na respetiva

otimização e análise dos resultados obtidos, de modo a verificar as otimizações conseguidas através das metodologias de controlo do processo de injeção.

A fase 5 corresponde ao desenvolvimento de diferentes metodologias de controlo dos processos, as quais tenham impacto positivo no rastreamento e controlo de falhas que ocorram desde a injeção de peça até ao seu embalamento, e o desenvolvimento das mesmas no chão de fábrica. Após o início do estudo a cerca destas metodologias, é efetuada a respetiva análise e discussão dos resultados obtidos com o objetivo de melhoria dos processos e dos métodos de trabalho, e que corresponde à fase 6.

A sétima e última fase deste trabalho concluí com uma análise crítica as metodologias implementadas e os resultados obtidos, e procede ainda à reflexão sobre as tendências futuras que possam advir deste projeto.

2 Revisão Bibliográfica

O processo mais comumente utilizado na produção de peças plásticas do sector automóvel é a injeção de polímeros termoplásticos através de máquinas de injeção de moldes, que podem possuir diferentes tonelagens (Figura 2.1). Este processo é o preferido quando se pretende produzir uma peça de plástico, pois é um processo rápido e versátil, que tem a capacidade de originar várias peças de diferentes tamanhos, aplicações e complexidades.

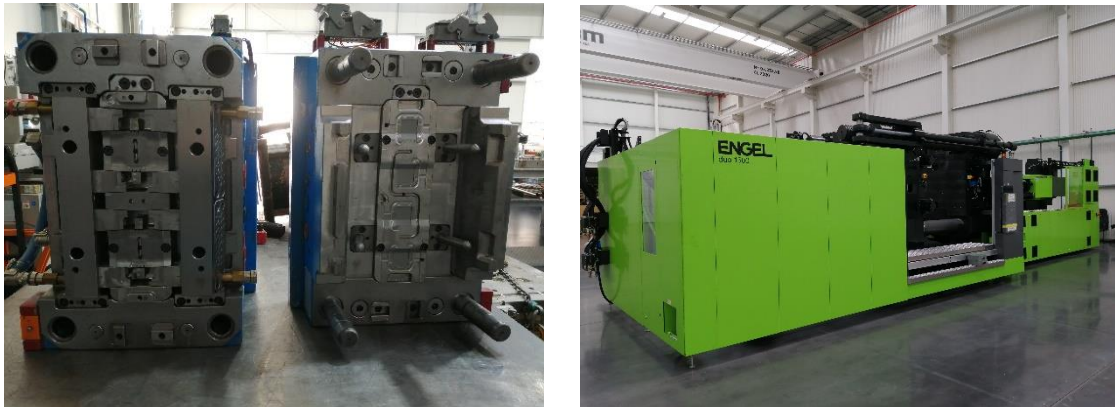


Figura 2.1: Imagem de um molde de injeção de polímeros e da máquina de injeção.

2.1 Processo de injeção

O processo de injeção tem início aquando do fecho do molde, neste momento começa a injeção do plástico fundido no fuso, através dos canais e respetivo bico para o interior do molde (Figura 2.1). Após o preenchimento do molde na sua totalidade com matéria prima plástica, ocorre o arrefecimento do material no molde sobre pressão, devido à temperatura do molde ser inferior à temperatura de fusão do material, levando à solidificação. Após a peça estar arrefecida, segue-se a sua extração do molde com auxílio de extratores que se movem após a abertura do molde ajudando a remover a peça. Ao mesmo tempo que decorre a extração da peça, o fuso da máquina é alimentado com a dose de matéria prima necessária à injeção da peça seguinte.

A matéria prima encontra-se na tremonha (Figura 2.2) no seu estado sólido, usualmente em forma de grão. A tremonha doseia a matéria prima para o fuso/cilindro, onde a matéria prima é fundida através do aquecimento e de forças mecânicas ao longo do cilindro (Figura 2.2) até chegar ao bico, por onde o material é injetado para dentro do molde.

Após a peça ser extraída e o fuso recolher a matéria prima da tremonha através do seu mecanismo de dosagem da carga, o molde fecha dando início ao ciclo seguinte³. De modo a ter um processo otimizado com o máximo de eficiência e manter os mesmos requisitos em cada produção, cada molde e/ou cada versão do molde tem uma Ficha de Ajustagem de Máquina (FAM) específica para uma determinada máquina de injeção, na qual ficam registados todos os parâmetros de injeção otimizados para um determinado processo. Alguns exemplos de parâmetros que estão definidos pela FAM são: a temperatura de refrigeração do molde, temperatura do cilindro, velocidade, pressão e tempo de injeção, pressão e tempo de 2^o pressão, almofada da massa, entre outros. Destes os que se destacam são o tempo de ciclo, tempo de

injeção e a almofada da massa, pois qualquer alteração que ocorra num dos outros parâmetros, vai se refletir em pelo menos um destes três⁵.

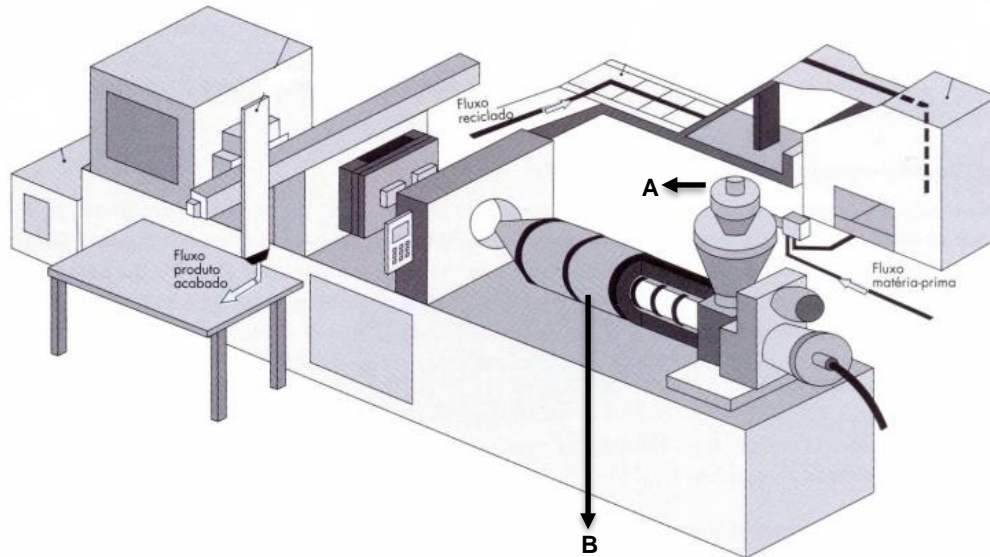


Figura 2.2. Exemplo de uma máquina de injeção de moldes: A-Tremonha; B- Cilindro da máquina⁵.

2.1.1 Almofada da massa

A almofada da massa é um parâmetro da máquina de injeção, que consiste na sobra de material plástico que fica no fuso, ou seja, que foi fundido e não foi injetado no molde. Este parâmetro, apesar de ter um valor nominal associado, é na realidade uma resultante dos outros parâmetros, variando consoante a variação de outros parâmetros do processo, como o valor da contrapressão, da 2^o pressão e da velocidade de injeção.

2.1.2 Tempo de injeção

O tempo de injeção é um parâmetro que como o nome indica, se refere ao tempo total no qual decorre a injeção da matéria prima no molde, até perfazer entre 95 e 98 % do seu espaço total, após o qual se exerce uma 2^o Pressão que compacta o material na forma do molde pretendida⁶. Este parâmetro não é definido de uma maneira exata para todos os moldes ou matérias primas, a determinação do seu valor nominal é conseguida através de experiências e tentativa-erro dos engenheiros responsáveis por cada molde⁷.

2.1.3 Tempo de ciclo

O tempo de ciclo é definido como o tempo total necessário para completar um ciclo de injeção, o qual tem início com o fecho do molde, de forma cíclica. O tempo de ciclo pode variar entre alguns segundos e vários minutos, dependendo do material a injetar, do tamanho do produto final, da tonelagem da máquina, entre outras variáveis⁸. Este parâmetro divide-se em oito fases, e que estão exemplificadas na Figura 2.3. O tempo de ciclo começa a contabilizar a

partir do fecho do molde, e dá início ao avanço do fuso e da injeção do material fundido no molde. O fuso mantém-se avançado nesta fase de modo a auxiliar na compressão do material no molde. O fuso recua e inicia o arrefecimento do material até que o produto solidifique totalmente. O último passo é a abertura do molde e extração do produto, este é o passo mais demorado do processo, sendo também nesta fase que o material é carregado no fuso⁹.

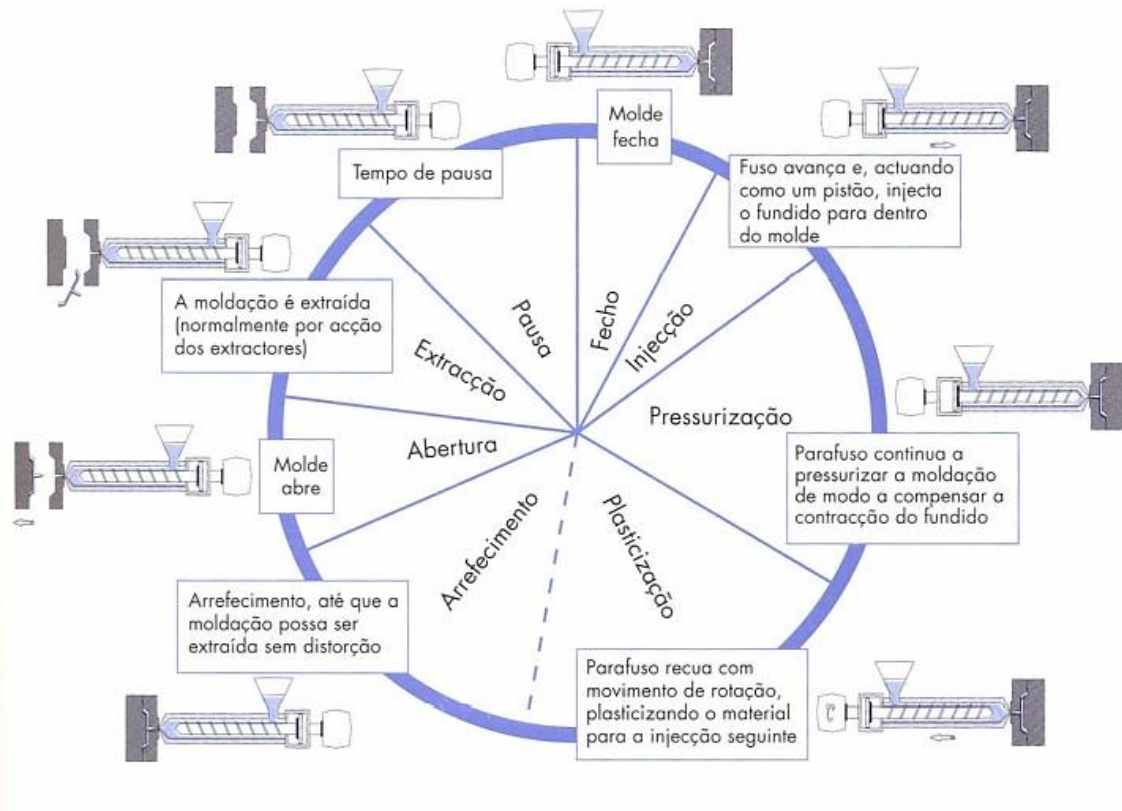


Figura 2.3: Esquema de um ciclo completo de injeção⁵.

2.2 Materiais poliméricos

Atualmente, quase tudo o que se encontra em nosso redor é constituído por blocos de material orgânico. Desde sacos de plásticos até às carpetes de fibra, os polímeros são dos materiais mais utilizados na sociedade. Segundo Staudinger, os polímeros, como o próprio nome indica, são macromoléculas resultantes de uma sequência de unidades repetidas, os monómeros¹⁰. A junção de diferentes monómeros forma diferentes polímeros, podendo estes ser distinguidos entre polímeros sintéticos e naturais, quando são formados por monómeros sintéticos ou naturais, respetivamente. Os polímeros sintéticos são comumente utilizados em produtos do sector automóvel, desde lentes a painéis de controlo, enquanto que os naturais surgem nos organismos, em forma de polissacarídeos, fibras, proteínas entre outras formas¹¹.

Dentro dos polímeros sintéticos existe uma distinção entre duas principais classificações: polímeros termoplásticos e polímeros termofixos. Como o nome indica, estas duas classificações são devido às suas propriedades aquando sob o efeito de temperaturas elevadas. Os termofixos são líquidos na sua forma inicial, e sofrem o processo de reticulação e endurecimento induzido

pela exposição a determinadas temperaturas. Por sua vez, os termoplásticos são constituídos por moléculas que não se encontram reticuladas com as moléculas vizinhas, o que lhes permite apresentar uma estrutura vítrea a temperaturas baixas e uma estrutura borrachosa a temperaturas elevadas. Ao contrário dos polímeros termoplásticos, os termofixos não têm a capacidade de sofrer nova fusão para ser remodelado numa outra forma desejada. Esta características dos termoplásticos faz com que sejam preferenciados nos processos de injeção de produtos¹².

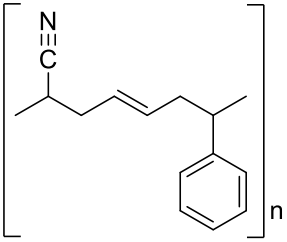
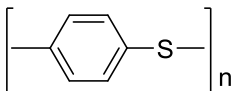
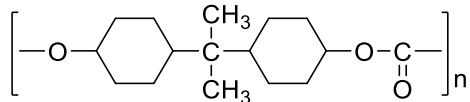
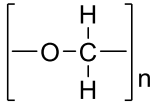
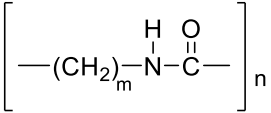
2.2.1. Termoplásticos

Os termoplásticos são polímeros de estrutura molecular simples, unidas por forças de atração intermolecular secundária relativamente baixas, o que os torna facilmente quebráveis pela aplicação de temperaturas elevadas, e levando conseqüentemente à sua fusão ou amolecimento. Devido a estas características, estes polímeros são materiais que podem sofrer inúmeros ciclos de fusão, moldagem e arrefecimento, permitindo assim o seu reprocessamento e reciclagem, sem que ocorra a sua total degradação¹³.

Comparativamente a outros polímeros, os termoplásticos têm uma maior dureza, o que lhes permite ter uma maior resistência a elevadas forças de impacto. Estas características aliadas ao seu baixo custo, são as principais características que tornam este tipo de polímeros sintéticos os preferidos em relação aos metais em inúmeras indústrias, nomeadamente na automóvel¹⁴.

Existem dois tipos de termoplásticos: semi-cristalinos ou cristalinos e amorfos. Os semi-cristalinos possuem estruturas cristalinas e amorfas na cadeia polimérica, sendo que a sua estrutura cristalina varia consoante tamanho e orientação dos cristais e do tamanho das cadeias. O Poli (Óxido de metileno) (POM) é um termoplástico cristalino. Relativamente aos semi-cristalinos, são exemplos o Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poli (sulfureto de p-fenileno) (PPS), entre outros. Relativamente às estruturas amorfas, estas caracterizam-se por serem polímeros estruturais com uma orientação desordenada, sendo exemplos destes materiais o Poliestireno (PS), Policarbonato (PC), Poliamida (PA) e Acrílico Butadieno Estireno (*Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS*), entre outros existentes em mercado (Tabela 2.1)^{15,16,17}.

Tabela 2.1. Estruturas químicas e propriedades físicas (temperatura de fusão (TF), cristalinidade (Cris.) e resistência (R)) de alguns termoplásticos.

Termoplástico	Estrutura Química	Propriedades Físicas
ABS		<p>TF- 200°C</p> <p>R- Não resistente à corrosão de determinados compostos orgânicos</p> <p>Cris.- Amorfo</p>
PPS		<p>TF- 280°C</p> <p>R- Resistente a elevadas temperaturas e à corrosão</p> <p>Cris.- Semi-cristalino</p>
PC		<p>TF- 265 °C</p> <p>R- Resistente a solventes e variações bruscas meteorológicas e de radiação UV</p> <p>Cris.- Amorfo</p>
POM		<p>TF- 166 °C</p> <p>R- Resistente a químicos</p> <p>Cris.- Cristalino</p>
PA		<p>TF- 215-265 °C</p> <p>R- Resistente a abrasão/fricção</p> <p>Cris.- Amorfo</p>

O uso de termoplásticos não é só a matéria prima mais elegida pela indústria de injeção de componentes automóveis, também as indústrias da defesa, aeroespacial, marinha, e da construção optam pelo uso desta matéria prima. Na altura da escolha de qual termoplástico utilizar, os fatores mais decisivos são usualmente, o custo e as temperaturas de transição^{18,19,20}.

2.3 Controlo de qualidade

Ao longo dos tempos, a definição de qualidade tem sofrido algumas alterações e diferentes interpretações. Em 1931, para se ter qualidade era necessário ter um processo com poucas variações. Em 1998, *Juran and Godfrey*, interpretaram o conceito de qualidade do ponto de vista do cliente, tendo o definido como sinónimo de 'apto para uso', definição esta que foi estendida posteriormente à ideia de fornecer um serviço de qualidade e não só produtos de qualidade²¹.

A qualidade e a inspeção da qualidade tiveram início no século XX, através de métodos mais tradicionais e básicos: uso da medição para detetar erros na produção de um determinado produto²². A partir de 1924, iniciou-se o controlo de qualidade através de métodos estatísticos, a qual foi nomeada de *Statistical Process Control* (SPC), e que permitia perceber porquê e como

é que os processos mudavam ao longo do tempo. Esta noção levou a que houvesse uma crescente preocupação relativa ao controlo dos processos e ao conhecimento dos processos de produção, que até então não existia e que é essencial na determinação da causa raiz dos problemas e das respetivas soluções²³. Nos últimos anos, novas metodologias de inspeção e controlo da qualidade têm sido exploradas e implementadas na indústria Japonesa, tais como a garantia da qualidade, Educação e treino de qualidade, otimização do processo em prol da sua robustez e dos custos, e ainda a inserção da qualidade em todas as atividades das indústrias e não só na produção. Em consequência dos resultados positivos destas metodologias, o resto do mundo tem implementado muitas destas metodologias nas suas indústrias²⁴. Ao longo dos últimos tempos, a qualidade tem tido uma melhoria contínua que evolui de acordo com o aumento de exigências impostas pelos mercados. Foi assim definido um Modelo Moderno de Melhoria da qualidade, que alia o acompanhamento constante da produção com as inspeções realizadas aos produtos finais, permitindo uma atuação imediata que pode evitar defeitos nas peças através de métodos de controlo de qualidade que são apresentados nesta secção²⁵.

2.3.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) é uma estratégia de melhoria contínua das organizações empresariais que se rege por 4 passos cíclicos, e que estão demonstrados a seguir:

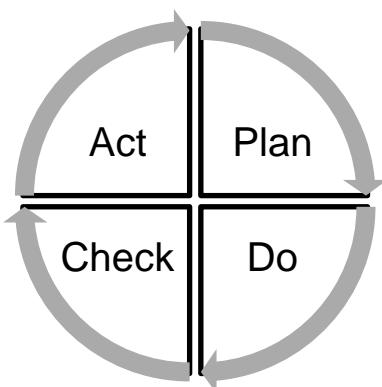


Figura 2.4. Imagem do ciclo Plan-Do-Check-Act.

Esta metodologia é a base da manutenção e controlo de qualidade, pois pretende conseguir uma análise constante dos problemas que aparecem e promovem a procura de resoluções dos mesmos, prevenindo assim o seu reaparecimento e/ou normalizar o método de resolução²⁶.

Plan – fase de planeamento de uma estratégia, organizada, do processo de modo a aperfeiçoar os resultados.

Do – fase de implementação e gestão dos procedimentos, respondendo aos requerimentos dos clientes e aos problemas que aparecem na produção/no produto final

Check – esta fase é de monitorização e medição das metodologias implementadas e dos produtos produzidos, com reporte das mesmas.

Act – decidir formas de atuar nas produções de modo a conseguir alcançar a melhoria contínua.

Assim, é possível assegurar uma melhoria constante dos processos através do aumento de eficiência alcançado. Este método, apesar de ter sido pensado para a aplicação em produções industriais, também pode ser aplicado em outros modelos de negócio^{27,28}.

2.3.2 Resolução de Problemas

Aquando do aparecimento de um problema, dos passos mais importantes é a descoberta da causa do problema. Com vista à resolução do problema, analisa se todas as potenciais situações que podem ter causado o problema, tendo em todo o processo uma mente aberta à possibilidade de haver diversas causas e soluções para o mesmo problema²⁹. Em qualquer indústria, a melhor forma de solucionar um problema é através da determinação da causa raiz do mesmo, por este método, tanto se soluciona o problema atual como se previne possíveis futuros problemas que daí poderiam advir³⁰. Com esta linha de pensamento, foram desenvolvidas várias ferramentas de análise de problemas simples e eficazes na deteção da sua causa raiz, tais como: a metodologia 8D, a técnica dos 5 porquês e o diagrama de Ishikawa³¹.

2.3.2.1 Metodologia 8D

A metodologia 8D é uma metodologia padronizada para a análise e resolução de problemas, que consiste na divisão do Ciclo PDCA em 8 passos, com o objetivo de erradicar os problemas do processo produtivo através de ações corretivas que os eliminem.

Esta metodologia envolve uma equipa a trabalhar em conjunto com o objetivo de resolver os problemas de qualidade, e tem como vantagens ser um método de sistematização e padronização do trabalho que enfatiza as ações corretivas com base das decisões em factos e não opiniões, evitando assim a tomada de decisões com base no 'sintoma' ao invés da raiz do problema³².

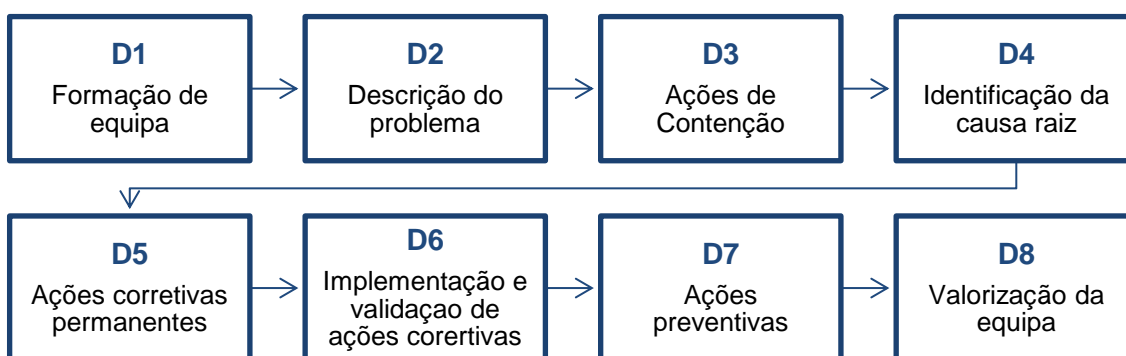


Figura 2.5. Esquematização dos 8 passos da Metodologia 8D.

Na Figura 2.5 encontra-se exemplificado um esquema representativo das 8 fases desta metodologia. Na primeira fase é essencial ter uma equipa formada por pessoas capazes de

resolver os problemas através da aplicação desta metodologia e que tenham ao seu dispor toda a informação necessária. Numa segunda abordagem, a equipa tenta perceber a natureza do problema e se este é pontual ou se pode acontecer noutro produto através da utilização da técnica dos '5 Porquês'. Na indústria automóvel, a 3ª fase tem de ser realizada num prazo de 24 horas, e consiste na implementação e respetiva verificação de ações de contenção. Após verificado o efeito das ações implementadas, identifica-se as possíveis causas raiz, também através da técnica dos '5 Porquês' e/ou diagrama de *Ishikawa*, privilegiando sempre um *brainstorming* sobre as possíveis causa-efeitos.

Após implementadas as ações, a fase 6 consiste na verificação das mesmas através de Processos de Controlo Estatístico e Processos de Capabilidade. As implementações têm a sua eficácia verificada no passo seguinte, no qual analisam a implementação de ações corretivas permanentes, num prazo máximo de 90 dias na Indústria Automóvel. Tendo sempre em atenção que estas têm de estar sempre de acordo com as exigências dos clientes. Os últimos dois passos têm como objetivo evitar a recorrência dos problemas através de ações corretivas em produtos semelhantes e da atualização de todos os documentos relativos ao produto e do processo³³.

2.3.2.2 Técnica dos '5 Porquês'

Todos os problemas têm uma causa que o origina, este facto é um facto conhecido e transversal a qualquer área. Com o objetivo de desvendar possíveis causas dos problemas de produção, a Toyota criou a técnica dos "5 Porquês". É uma técnica simples de se chegar à causa raiz dos problemas, usualmente auxiliada pelo preenchimento de um esquema como o demonstrado na Figura 2.6, o que origina uma análise cada vez mais específica na causa originadora dos problemas^{34,35}. No entanto, esta técnica tem originado críticas que questionam a sua eficácia por ser um método que só funciona por uma via, excluindo as outras que diferentes pessoas poderiam pensar numa primeira análise. Apesar desta desvantagem, este método, quando utilizado com cuidado e por um grupo de pessoas que abordem as causas dos problemas através de diferentes abordagens, torna-se uma ferramenta muito poderosa na determinação das causas raiz³¹.

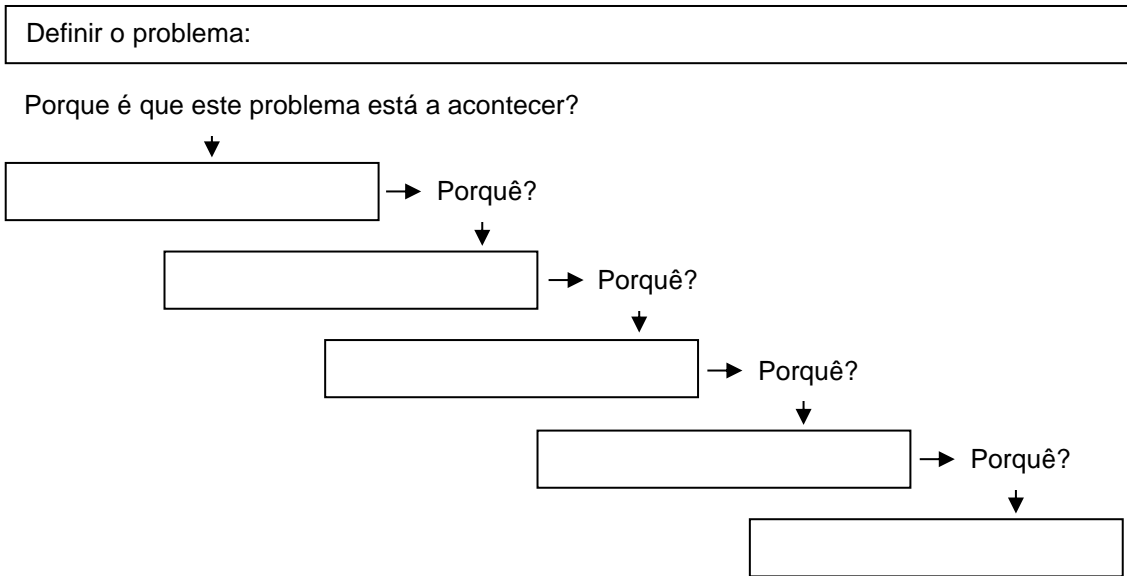


Figura 2.6. Exemplo de um diagrama dos '5 Porquês'.

2.3.2.3 Diagrama de Ishikawa

Outro método de resolução de problemas comumente utilizado nas empresas é o Diagrama de *Ishikawa* (diagrama de causa efeito), criado em 1960 pelo Engenheiro Químico Kaoru Ishikawa, cuja finalidade é organizar um raciocínio lógico durante debates acerca de problemas existentes em processos (especialmente em processos industriais), das suas possíveis causas e se estão interrelacionadas³⁶.

Com o auxílio do diagrama, Figura 2.7, é possível determinar diferentes possíveis causas para o problema encontrado. O diagrama de causa-efeito considera que os problemas sejam classificados em 6 categorias de causas (6M): Método, Matéria prima, Mão de obra, Máquinas, Medição e Meio ambiente³⁷. É frequente esta metodologia ser complementada pela técnica dos '5 porquês'.

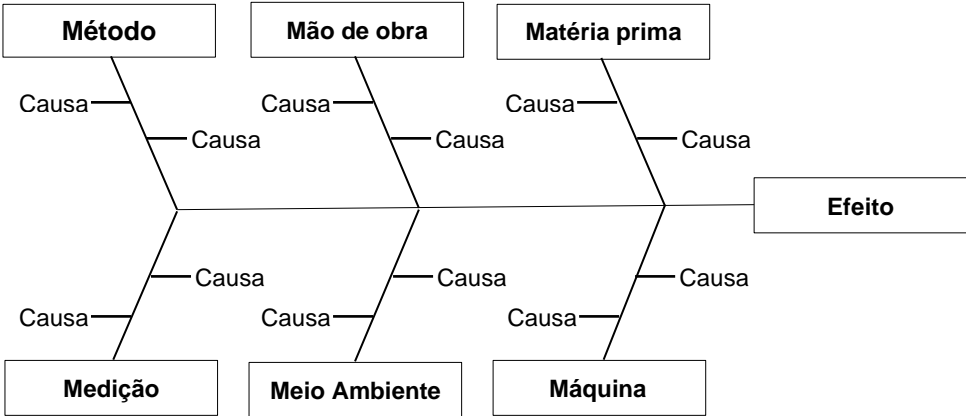


Figura 2.7. Exemplo representativo de um Diagrama de *Ishikawa* (6 categorias de causas – 6M).

2.3.3 Indicadores

Os indicadores são muito importantes, e consistem em ferramentas que comparam os resultados da produção com os requisitos pré-definidos, e são capazes de medir quaisquer desvios que ocorram. Os indicadores devem ser bem definidos e de simples entendimento, devendo seguir algumas condições tais como:

- Todas as entidades envolvidas aceitam os indicadores como fontes de medição;
- Todas as partes concordam que a utilização dos indicadores é relevante para a satisfação dos clientes;
- Os indicadores derivam de parâmetros que podem ser controlados e alterados;
- Os indicadores fornecem informações sobre as condições de produção³⁹.

Usualmente, estes indicadores encontram-se em forma de números e permitem uma rápida análise dos dados de performance da produção de uma empresa. Com base na literatura, verifica-se que é consensual na eleição da *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), como melhor indicador dos processos de produção³⁸⁻⁴⁰.

2.3.3.1 OEE

Overall Equipment Effectiveness (OEE) é um método de cálculo simples e muito utilizado nas indústrias, com o propósito de medir a eficácia das produções e alertar para processos que não tenham a eficiência desejada⁴¹. Segundo a Equação 2.1, obtém-se um valor, em percentagem (%) da OEE respectiva a cada produção.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (2.1)$$

A disponibilidade refere-se ao tempo disponível para produção do equipamento, e calcula-se através da divisão do tempo real de produção pelo tempo que está programado (Equação 2.2).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo Real de Produção}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.2)$$

O desempenho refere-se à produtividade de produção do equipamento, e calcula-se através da divisão da produção real pela produção programada (Equação 2.3).

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Programada}} \quad (2.3)$$

A qualidade relaciona os produtos conforme produzidos com as perdas por avaria ou defeito, e é calculado com recurso à Equação 2.4⁴².

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Quantidade de Produtos Bons}}{\text{Quantidade de Produtos Produzidos}} \quad (2.4)$$

Contudo, em muitas indústrias, é utilizada uma fórmula alternativa para o cálculo a OEE, mais rápida e igualmente esclarecedora do rendimento da produção e que corresponde à razão os produtos bons e a capacidade de produção teórica da máquina (Equação 2.5)⁴³.

$$\text{OEE} = \frac{\text{Total de Produtos Bons}}{\text{Capacidade de Produção Teórica por hora} \times \text{Tempo de Produção}} \quad (2.5)$$

O valor de OEE ideal é de 100 %, que significa que não houve produtos com defeitos, só produtos conformes. Contudo, o objetivo interno da MaxiPlás, o objetivo é alcançar uma OEE superior ou igual a 97 %.

2.4 Autocontrolo

O Autocontrolo é um método de monitorização, que foi desenvolvido pela Toyota em 1950. O controlo é autónomo, sendo efetuado por cada operador, individualmente, que opera no posto de trabalho. Com a generalização do autocontrolo a todas as peças, diminuiu a possibilidade de envio de peças defeituosas para a linha de produção seguinte, evitando deste modo que cheguem ao cliente⁴⁴.

Para um autocontrolo eficiente, é preciso formar e sensibilizar os operadores, para que tenham conhecimento dos objetivos a alcançar e que disponham de todos os meios para o conseguir, adquiram capacidades de autocontrolo dos produtos pretendidos e que saibam a quem e onde recorrer em caso de necessidade.

O autocontrolo é não só uma forma de enaltecer a confiança entre trabalhador/empresa, como também na confiança dos clientes com a empresa, ao demonstrar um investimento da qualificação/formação dos seus operadores⁴⁵.

2.5 Análise fatorial

A análise fatorial consiste num método de análise estatístico de dados que permite simplificar e analisar um conjunto de dados através de uma única equação. Contudo, de modo a proceder a uma análise fatorial correta, tem de se ter em atenção a alguns pressupostos, tais como a rastreabilidade, exclusão de valores anómalos e a exclusão de omissões.

Uma das técnicas capazes de efetuar a análise estatística multivariada é a modelação multivariada. Esta metodologia estatística define um modelo, dentro de um número infinito de modelos, que possibilita não só a descrição, como a previsão da resposta do estudo.

A modelação de sistemas é conseguida através de duas formas: modelação implícita e modelação explícita. Estes dois métodos distintos de analisar sistemas multivariados diferem essencialmente na existência prévia de um modelo conhecido - na modelação explícita (ou tradicional) o modelo é previamente definido e depois os parâmetros do modelo (ou coeficientes

de ajuste) são calculados de forma a minimizar o erro de ajuste do modelo (traduzido pela soma de quadrados dos desvios entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais a descrever); já na modelação explícita o sistema em causa é previamente inspecionado no sentido de identificar fatores latentes (combinações lineares das variáveis preditores) relevantes para justificar a resposta em causa e posteriormente os parâmetros são estimados de modo a conduzir ao máximo de informação descrita pelo modelo.

De modo a definir a modelação explícita, recorre-se ao método dos mínimos quadrados multivariados (*Multivariate Ordinary Least Squares*, MOLS), o qual utiliza funções polinomiais multivariadas para definir o modelo de ajuste (explícito). Este método é vantajoso, pois possui um suporte estatístico (modelos lineares) e é fácil de calcular, no entanto, à medida que se aumenta a complexidade do modelo polinomial (maior número de parâmetros) o erro do ajuste diminui e a inversão de matrizes de erro (que conferem o suporte estatístico) fica impossibilitada (o inverso de zero é infinito).

De modo a evitar a indeterminação numérica (infinito) na escolha de modelos, recorre-se a critérios de ajuste penalizado, dos quais são exemplo o critério informativo de Bayes (*Bayesian Informative Criteria*, BIC) e Akaike (*Akaike Information Criteria*, AIC), expressos pelas equações 2.6 e 2.7, respetivamente

$$AIC = 2p - 2\ln(\sigma_{fit}) \quad (2.6)$$

$$BIC = p \cdot \ln(n) - 2\ln(\sigma_{fit}) \quad (2.7)$$

Na qual p corresponde ao número de parâmetros do modelo, n ao número de amostras e σ_{fit} é relativo ao desvio padrão do ajuste (Equação 2.8).

$$\sigma_{fit} = \sqrt{\frac{SS}{(n-p)}} \quad (2.8)$$

na qual SS representa a soma dos quadrados dos resíduos da função aos valores experimentais⁴⁶.

Quando o estudo remete para sistemas mais complexos, recorre-se a estes critérios com o intuito de simplificar processo iterativo de construção de modelos polinomiais, de modo a facilitar a deteção do melhor modelo de ajuste, através da minimização destes critérios (AIC ou BIC)^{47,48}.

Para selecionar um modelo adequado aos dados em análise, deve conseguir fazer um melhor ajuste dos valores experimentais em causa. Com isto, de modo a determinar a qualidade do ajuste (QA), estima-se alguns parâmetros de ajuste, tais como: o desvio padrão de ajuste (Equação 2.8), AIC (Equação 2.6), BIC (Equação 2.7), o coeficiente de determinação de Pearson (R^2) e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), equação 2.9.

$$R^2_{adj} = [1 - (1 - R^2)] \frac{n-1}{(n-p-1)} \quad (2.9)$$

A qualidade de ajuste é então resultado do melhor ajuste possível, que necessita dos menores valores do desvio padrão de ajuste, BIC e AIC e dos maiores valores dos coeficientes de determinação R^2 e R^2_{adj} (Equação 2.10).

$$QA = \frac{R^2 \cdot R^2_{adj}}{\sigma_{fit} \cdot AIC \cdot BIC} \quad (2.10)$$

Já a qualidade de previsão (QP) do modelo está relacionada com o erro médio de previsão

$$QP = \frac{1}{(RMSPE \cdot RMSPE_{adj})} \quad (2.11)$$

no qual o erro de previsão (RMSPE) é descrito pela Equação 2.12.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{\sum (y^i - y_i)^2}{n}} \quad (2.12)$$

Após selecionados modelos, pretende-se eleger o modelo que otimize não só a qualidade de ajuste, como que também minimize o erro de previsão. Com isto em vista, estimou-se o diagnóstico global de previsão (DG), e que é representado pela Equação 2.13

$$DG = QA \cdot QP = \frac{(R^2 \cdot R^2_{adj})}{(\sigma_{fit} \cdot AIC \cdot BIC \cdot RMSPE \cdot RMSPE_{adj})} \quad (2.13)$$

O melhor modelo de ajuste é o que tiver melhor desempenho global^{49,50}.

2.6 Estudo da Capabilidade

O estudo da capabilidade de um processo consiste num conjunto de cálculos que auxiliam na determinação se um dado processo/sistema é, estatisticamente, capaz de cumprir determinadas especificações exigidas pelo cliente e/ou pela empresa. As especificações tendem a ser valores numéricos que delimitem o mínimo e o máximo espectáveis para um processo otimizado. Esta análise é conseguida através da comparação entre os valores de especificação para um determinado produto/objeto e uma amostragem desse produto/objeto gerada num período de tempo definido para o efeito, sendo imprescindível que o processo esteja estatisticamente estabilizado⁵¹.

Há dois índices que são essenciais na análise da capabilidade: o C_p e C_{pk} .

A capacidade do processo mede a relação entre a tolerância definida de acordo com as especificações obtidas através dos valores entre o Limite Superior de Especificação (LSE) e o Limite Inferior de Especificação (LIE) e a variabilidade natural na produção de produtos pelo

processo. É assim possível de calcular o índice da capacidade potencial (C_p), sendo este a razão entre a tolerância da especificação e a variação do processo (Equação 2.14)⁵²:

$$C_p = \frac{\text{Tolerância da especificação}}{\text{Variação do Processo}} \quad (2.14)$$

Sendo que a 'Tolerância da especificação' corresponde a LSE-LIE, e a 'Variação do processo' corresponde a seis vezes a variação do processo, 6σ , interpretado como $\pm 3\sigma$ (σ corresponde ao desvio padrão geral).

Se o índice obtido for superior a 1, o método é considerado capaz, pois significa que a variabilidade natural da produção dos produtos é inferior à tolerância aceitável pelo processo (Figura 2.8)⁵³.

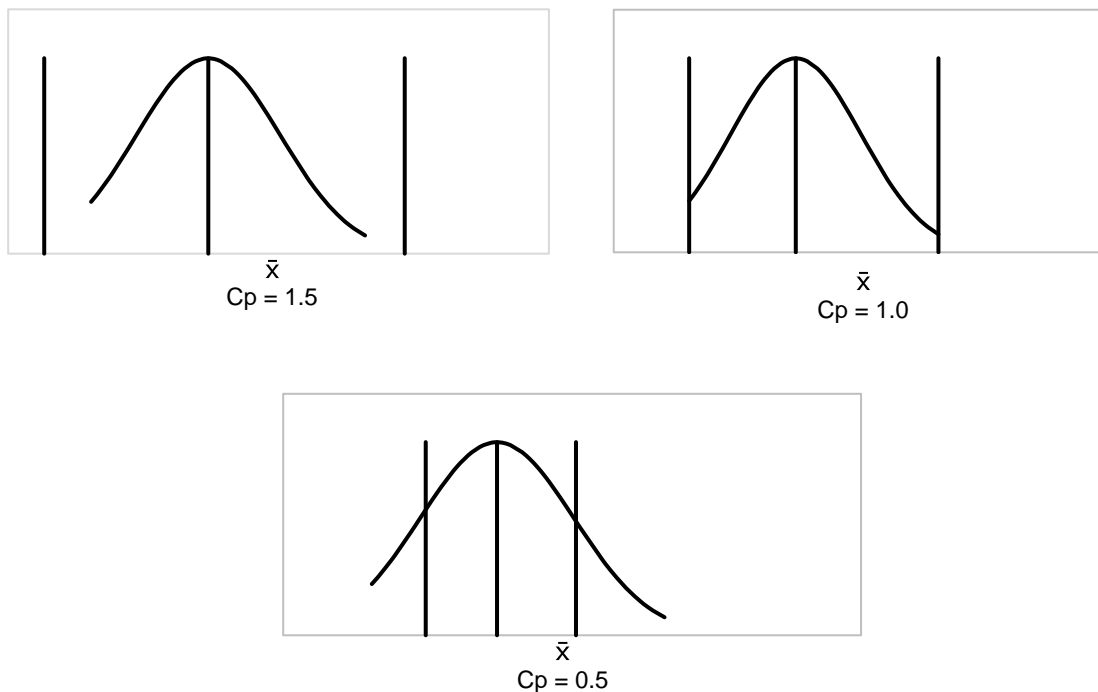


Figura 2.8. Diagramas exemplificativos do $C_p=1,5$ $C_p=1,0$ e $C_p=0,5$.

Em caso de falta da tolerância de especificação, utiliza-se o Nível de Qualidade Aceitável (NQA) regido pelas normas Military Standard 105, que define 1 % como o valor aceitável de peças defeituosas numa amostragem⁵⁴.

O segundo índice mencionado, C_{pk} (índice de capacidade relativo à localização), tem em consideração a localização do processo e é o menor valor obtido entre a diferença da média do processo (μ) e os limites de especificação, dividida por 3 vezes o desvio padrão da amostragem⁵⁵:

$$C_{pk} = \frac{Z \min}{3} = \min \left(\frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma}; \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \right) \quad (2.15)$$

Ao considerar o menor valor de Z , o Cpk é sempre representativo do lado com maior variação relativamente ao valor especificado. Pode-se assumir então, que quanto maior for o Cpk , mais centralizados e dentro de especificação se encontram os dados. Considera-se os seguintes valores de referência para o Cpk :

- $Cpk < 1$ – Processo é incapaz;
- $1 \leq Cpk \leq 1,33$ – Processo aceitável;
- $Cpk > 1,33$ – Processo capaz,

Sendo que na indústria automóvel, o índice aceitável é o $Cpk > 1,33$, garantindo assim o decorrer de um processo capaz.

Com o intuito de alcançar uma análise da capacidade mais completa, usualmente recorre-se a cartas de controlo e a histogramas. O histograma serve para confirmar que os dados de amostragem têm distribuição normal, e as cartas de controlo devem demonstrar que não ocorrem causas que originem variação.

Passos gerais da análise da capacidade:

1. recolher uma amostragem;
2. calcular o desvio padrão associado aos dados da amostra;
3. determinar os limites da distribuição;
4. calcular a quantidade de dados fora de especificação;
5. calcular e interpretar os índices de capacidade;
6. analisar os resultados.

Os índices, Cp e Cpk , para além de terem a vantagem de serem facilmente interpretados, conseguem ser monitorizados ao longo de possíveis alterações do processo, permitindo assim, averiguar a extensão das melhorias necessárias no processo, e posteriormente, a extensão de melhoramentos conseguidos. Contudo, apesar do objetivo ser o alcance de processos perfeitos, a realidade não é assim, pois a estabilidade de um processo não é absoluta⁵⁶.

2.7 Monitorização do processo

Para além dos processos de controlo de qualidade tanto dos produtos como do processo de produção, é igualmente necessário e importante o acompanhamento dos processos e metodologias aplicadas, de forma a analisar os impactos das mesmas. Fruto desta necessidade, averiguou-se métodos de monitorização, de forma a ter o acompanhamento após implementação de métodos de melhoria. A monitorização é por definição um processo de medida e comparação da evolução conseguida com os objetivos definidos previamente. De entre os métodos de monitorização, destacaram-se as auditorias de Kamishibai, nomeadamente por terem tido aplicações na indústria automóvel japonesa, a Toyota⁵⁷.

2.7.1. Auditorias de Kamishibai

Kamishibai é uma palavra japonesa que significa ‘teatro de papel’ e que consistia numa forma de contar uma história de uma forma simples e de fácil entendimento, tanto a pessoas literadas como aliteradas.

Estas auditorias são efetuadas por indivíduos qualificados para a função e consistem na verificação do cumprimento de determinados requisitos impostos para áreas específicas. Estes requisitos são normalmente colocados sobre a forma de questões e são essenciais à garantia da conformidade dos passos do processo, pois sem estes, poderiam existir pontos relevantes a não serem auditados. O objetivo primordial destas auditorias é assegurar que o nível exigido a cada sector avaliado é cumprido e assim garantir o melhor serviço. Este método de monitorização funciona através de um quadro e de cartões que permitem uma rápida e fácil verificação da ocorrência ou não de um problema. Os cartões são verdes e vermelhos, de modo a permitir a rápida visualização do estado do processo a ser avaliado, permitindo uma atuação imediata perante alguma não conformidade⁵⁸.

3 Caso de Estudo

Como já foi mencionado, a Máxiplas é uma empresa muito desenvolvida e em constante procura de métodos para melhorar e inovar controlo e monitorização dos processos. Com vista a manter o controlo de qualidade desenvolveu-se uma Equipa de Resolução de Problemas (ERP), com o propósito de manter os processos estáveis e os problemas que surgem dentro de controlo. Devido a esta equipa, foi possível determinar quais as maiores fontes dos problemas e com isso programar a implementação de métodos de controlo e monitorização durante o desenvolvimento do Projeto Industrial (Figura 3.1). Assim, foi selecionado o Autocontrolo da massa das peças como método de controlo dos processos, e como método de monitorização, foi selecionada a Auditoria de Kamishibai, de modo a monitorizar a eficácia dos métodos de controlo e a evolução dos problemas existentes.

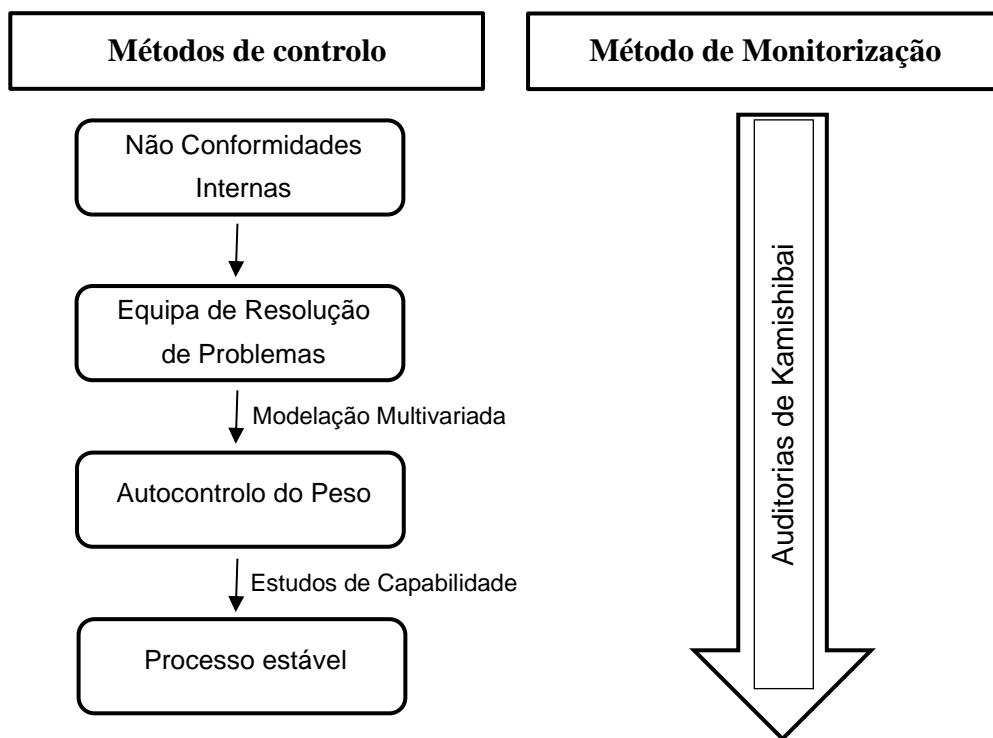


Figura 3.1. Fluxograma dos métodos implementados durante Projeto Industrial.

3.1 Equipa de Resolução de Problemas de 1º Nível

Com o objetivo de dinamizar de forma mais eficaz a Resolução de Problemas no processo de injeção, foi estabelecida uma Equipa de Resolução de Problemas Multidisciplinar, bem como foi desenvolvido um local para reunir em chão de fábrica e para registo dos problemas analisados (Figura 3.2).

A equipa é constituída por um grupo de pessoas com capacidades tanto para detetar os problemas como de os solucionar, o qual opera em chão de fábrica (1º nível de atuação), e da

qual faz parte o Técnico de Injeção, o Controlador de Qualidade, o Responsável de Injeção, uma pessoa responsável pelas Operações, e durante Projeto Industrial, eu. A equipa tem duas reuniões por turno nas quais averigua a ocorrência de problemas críticos durante a produção e atua imediatamente sobre eles. Alguns dos problemas críticos podem ser:

- Problemas reclamados pelo cliente e que se encontrem em produção;
- Produtos com OEE inferior (inferior a 85%);
- Produtos com defeitos reclamados internamente por outras áreas (ex: Montagem, Tampografia e Quality Wall);
- Produtos com elevadas taxas de rejeição (superior 5 %);
- Problemas recorrentes.

A atuação segue um conjunto definido de passos descritos a seguir e que se regem pelo ciclo PDCA:

1. Selecionar os dois produtos com maior taxa de rejeição e/ou baixo OEE e recolher amostras representativas dos defeitos rejeitados no turno;
2. Em reunião, a equipa descreve e caracteriza o problema;
3. Se necessário, implementa-se Ações de Contenção;
4. Análise das causas dos Problemas, através Diagrama de Ishikawa aliada à técnica dos '5 Porquês' (Figura F1 dos Anexos);
5. Definir e executar o Plano de Ações (com prazo e responsáveis);
6. Verificar a eficácia do Plano de Ações;
7. Sempre que possível, padronizar as ações implementadas noutros produtos.

Após as reuniões, tanto o Quadro de Reuniões de Resolução de Problemas físico (Figura 3.2) e digital (Figura F2, F3 e F4 dos Anexos) são atualizados.

DATA	NÚMERO DO PRODUTO	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	MATERIAL	UNIDADE	CAUSAS	AÇÕES	RESPONSÁVEL	DATA PLANEJADA	DATA EXECUTADA	VALIDAÇÃO DE EFETIVIDADE	DATA VALIDADA	STATUS
26/5/22	1898 1K	Pilhas partidas	EN6 260	C	Acção de montagem ou dos postigos rampográficos	Após manutenção de verificação de modelo de montagem a zona afectada é por postigo a modelo	Fátima P. Escamada M.	26.5.22	26.5.22	Após de após montagem verifica de montagem com 5/10mm por defeito. Não é sua produção OEE		
27.5.22	H885	Parafusos constantes	Eng 58	A	Definição de máquina e 1.º e 2.º e 3.º e 4.º e 5.º e 6.º e 7.º e 8.º e 9.º e 10.º e 11.º e 12.º e 13.º e 14.º e 15.º e 16.º e 17.º e 18.º e 19.º e 20.º e 21.º e 22.º e 23.º e 24.º e 25.º e 26.º e 27.º e 28.º e 29.º e 30.º e 31.º e 32.º e 33.º e 34.º e 35.º e 36.º e 37.º e 38.º e 39.º e 40.º e 41.º e 42.º e 43.º e 44.º e 45.º e 46.º e 47.º e 48.º e 49.º e 50.º e 51.º e 52.º e 53.º e 54.º e 55.º e 56.º e 57.º e 58.º e 59.º e 60.º e 61.º e 62.º e 63.º e 64.º e 65.º e 66.º e 67.º e 68.º e 69.º e 70.º e 71.º e 72.º e 73.º e 74.º e 75.º e 76.º e 77.º e 78.º e 79.º e 80.º e 81.º e 82.º e 83.º e 84.º e 85.º e 86.º e 87.º e 88.º e 89.º e 90.º e 91.º e 92.º e 93.º e 94.º e 95.º e 96.º e 97.º e 98.º e 99.º e 100.º e 101.º e 102.º e 103.º e 104.º e 105.º e 106.º e 107.º e 108.º e 109.º e 110.º e 111.º e 112.º e 113.º e 114.º e 115.º e 116.º e 117.º e 118.º e 119.º e 120.º e 121.º e 122.º e 123.º e 124.º e 125.º e 126.º e 127.º e 128.º e 129.º e 130.º e 131.º e 132.º e 133.º e 134.º e 135.º e 136.º e 137.º e 138.º e 139.º e 140.º e 141.º e 142.º e 143.º e 144.º e 145.º e 146.º e 147.º e 148.º e 149.º e 150.º e 151.º e 152.º e 153.º e 154.º e 155.º e 156.º e 157.º e 158.º e 159.º e 160.º e 161.º e 162.º e 163.º e 164.º e 165.º e 166.º e 167.º e 168.º e 169.º e 170.º e 171.º e 172.º e 173.º e 174.º e 175.º e 176.º e 177.º e 178.º e 179.º e 180.º e 181.º e 182.º e 183.º e 184.º e 185.º e 186.º e 187.º e 188.º e 189.º e 190.º e 191.º e 192.º e 193.º e 194.º e 195.º e 196.º e 197.º e 198.º e 199.º e 200.º e 201.º e 202.º e 203.º e 204.º e 205.º e 206.º e 207.º e 208.º e 209.º e 210.º e 211.º e 212.º e 213.º e 214.º e 215.º e 216.º e 217.º e 218.º e 219.º e 220.º e 221.º e 222.º e 223.º e 224.º e 225.º e 226.º e 227.º e 228.º e 229.º e 230.º e 231.º e 232.º e 233.º e 234.º e 235.º e 236.º e 237.º e 238.º e 239.º e 240.º e 241.º e 242.º e 243.º e 244.º e 245.º e 246.º e 247.º e 248.º e 249.º e 250.º e 251.º e 252.º e 253.º e 254.º e 255.º e 256.º e 257.º e 258.º e 259.º e 260.º e 261.º e 262.º e 263.º e 264.º e 265.º e 266.º e 267.º e 268.º e 269.º e 270.º e 271.º e 272.º e 273.º e 274.º e 275.º e 276.º e 277.º e 278.º e 279.º e 280.º e 281.º e 282.º e 283.º e 284.º e 285.º e 286.º e 287.º e 288.º e 289.º e 290.º e 291.º e 292.º e 293.º e 294.º e 295.º e 296.º e 297.º e 298.º e 299.º e 300.º e 301.º e 302.º e 303.º e 304.º e 305.º e 306.º e 307.º e 308.º e 309.º e 310.º e 311.º e 312.º e 313.º e 314.º e 315.º e 316.º e 317.º e 318.º e 319.º e 320.º e 321.º e 322.º e 323.º e 324.º e 325.º e 326.º e 327.º e 328.º e 329.º e 330.º e 331.º e 332.º e 333.º e 334.º e 335.º e 336.º e 337.º e 338.º e 339.º e 340.º e 341.º e 342.º e 343.º e 344.º e 345.º e 346.º e 347.º e 348.º e 349.º e 350.º e 351.º e 352.º e 353.º e 354.º e 355.º e 356.º e 357.º e 358.º e 359.º e 360.º e 361.º e 362.º e 363.º e 364.º e 365.º e 366.º e 367.º e 368.º e 369.º e 370.º e 371.º e 372.º e 373.º e 374.º e 375.º e 376.º e 377.º e 378.º e 379.º e 380.º e 381.º e 382.º e 383.º e 384.º e 385.º e 386.º e 387.º e 388.º e 389.º e 390.º e 391.º e 392.º e 393.º e 394.º e 395.º e 396.º e 397.º e 398.º e 399.º e 400.º e 401.º e 402.º e 403.º e 404.º e 405.º e 406.º e 407.º e 408.º e 409.º e 410.º e 411.º e 412.º e 413.º e 414.º e 415.º e 416.º e 417.º e 418.º e 419.º e 420.º e 421.º e 422.º e 423.º e 424.º e 425.º e 426.º e 427.º e 428.º e 429.º e 430.º e 431.º e 432.º e 433.º e 434.º e 435.º e 436.º e 437.º e 438.º e 439.º e 440.º e 441.º e 442.º e 443.º e 444.º e 445.º e 446.º e 447.º e 448.º e 449.º e 450.º e 451.º e 452.º e 453.º e 454.º e 455.º e 456.º e 457.º e 458.º e 459.º e 460.º e 461.º e 462.º e 463.º e 464.º e 465.º e 466.º e 467.º e 468.º e 469.º e 470.º e 471.º e 472.º e 473.º e 474.º e 475.º e 476.º e 477.º e 478.º e 479.º e 480.º e 481.º e 482.º e 483.º e 484.º e 485.º e 486.º e 487.º e 488.º e 489.º e 490.º e 491.º e 492.º e 493.º e 494.º e 495.º e 496.º e 497.º e 498.º e 499.º e 500.º e 501.º e 502.º e 503.º e 504.º e 505.º e 506.º e 507.º e 508.º e 509.º e 510.º e 511.º e 512.º e 513.º e 514.º e 515.º e 516.º e 517.º e 518.º e 519.º e 520.º e 521.º e 522.º e 523.º e 524.º e 525.º e 526.º e 527.º e 528.º e 529.º e 530.º e 531.º e 532.º e 533.º e 534.º e 535.º e 536.º e 537.º e 538.º e 539.º e 540.º e 541.º e 542.º e 543.º e 544.º e 545.º e 546.º e 547.º e 548.º e 549.º e 550.º e 551.º e 552.º e 553.º e 554.º e 555.º e 556.º e 557.º e 558.º e 559.º e 560.º e 561.º e 562.º e 563.º e 564.º e 565.º e 566.º e 567.º e 568.º e 569.º e 570.º e 571.º e 572.º e 573.º e 574.º e 575.º e 576.º e 577.º e 578.º e 579.º e 580.º e 581.º e 582.º e 583.º e 584.º e 585.º e 586.º e 587.º e 588.º e 589.º e 590.º e 591.º e 592.º e 593.º e 594.º e 595.º e 596.º e 597.º e 598.º e 599.º e 600.º e 601.º e 602.º e 603.º e 604.º e 605.º e 606.º e 607.º e 608.º e 609.º e 610.º e 611.º e 612.º e 613.º e 614.º e 615.º e 616.º e 617.º e 618.º e 619.º e 620.º e 621.º e 622.º e 623.º e 624.º e 625.º e 626.º e 627.º e 628.º e 629.º e 630.º e 631.º e 632.º e 633.º e 634.º e 635.º e 636.º e 637.º e 638.º e 639.º e 640.º e 641.º e 642.º e 643.º e 644.º e 645.º e 646.º e 647.º e 648.º e 649.º e 650.º e 651.º e 652.º e 653.º e 654.º e 655.º e 656.º e 657.º e 658.º e 659.º e 660.º e 661.º e 662.º e 663.º e 664.º e 665.º e 666.º e 667.º e 668.º e 669.º e 670.º e 671.º e 672.º e 673.º e 674.º e 675.º e 676.º e 677.º e 678.º e 679.º e 680.º e 681.º e 682.º e 683.º e 684.º e 685.º e 686.º e 687.º e 688.º e 689.º e 690.º e 691.º e 692.º e 693.º e 694.º e 695.º e 696.º e 697.º e 698.º e 699.º e 700.º e 701.º e 702.º e 703.º e 704.º e 705.º e 706.º e 707.º e 708.º e 709.º e 710.º e 711.º e 712.º e 713.º e 714.º e 715.º e 716.º e 717.º e 718.º e 719.º e 720.º e 721.º e 722.º e 723.º e 724.º e 725.º e 726.º e 727.º e 728.º e 729.º e 730.º e 731.º e 732.º e 733.º e 734.º e 735.º e 736.º e 737.º e 738.º e 739.º e 740.º e 741.º e 742.º e 743.º e 744.º e 745.º e 746.º e 747.º e 748.º e 749.º e 750.º e 751.º e 752.º e 753.º e 754.º e 755.º e 756.º e 757.º e 758.º e 759.º e 760.º e 761.º e 762.º e 763.º e 764.º e 765.º e 766.º e 767.º e 768.º e 769.º e 770.º e 771.º e 772.º e 773.º e 774.º e 775.º e 776.º e 777.º e 778.º e 779.º e 780.º e 781.º e 782.º e 783.º e 784.º e 785.º e 786.º e 787.º e 788.º e 789.º e 790.º e 791.º e 792.º e 793.º e 794.º e 795.º e 796.º e 797.º e 798.º e 799.º e 800.º e 801.º e 802.º e 803.º e 804.º e 805.º e 806.º e 807.º e 808.º e 809.º e 810.º e 811.º e 812.º e 813.º e 814.º e 815.º e 816.º e 817.º e 818.º e 819.º e 820.º e 821.º e 822.º e 823.º e 824.º e 825.º e 826.º e 827.º e 828.º e 829.º e 830.º e 831.º e 832.º e 833.º e 834.º e 835.º e 836.º e 837.º e 838.º e 839.º e 840.º e 841.º e 842.º e 843.º e 844.º e 845.º e 846.º e 847.º e 848.º e 849.º e 850.º e 851.º e 852.º e 853.º e 854.º e 855.º e 856.º e 857.º e 858.º e 859.º e 860.º e 861.º e 862.º e 863.º e 864.º e 865.º e 866.º e 867.º e 868.º e 869.º e 870.º e 871.º e 872.º e 873.º e 874.º e 875.º e 876.º e 877.º e 878.º e 879.º e 880.º e 881.º e 882.º e 883.º e 884.º e 885.º e 886.º e 887.º e 888.º e 889.º e 890.º e 891.º e 892.º e 893.º e 894.º e 895.º e 896.º e 897.º e 898.º e 899.º e 900.º e 901.º e 902.º e 903.º e 904.º e 905.º e 906.º e 907.º e 908.º e 909.º e 910.º e 911.º e 912.º e 913.º e 914.º e 915.º e 916.º e 917.º e 918.º e 919.º e 920.º e 921.º e 922.º e 923.º e 924.º e 925.º e 926.º e 927.º e 928.º e 929.º e 930.º e 931.º e 932.º e 933.º e 934.º e 935.º e 936.º e 937.º e 938.º e 939.º e 940.º e 941.º e 942.º e 943.º e 944.º e 945.º e 946.º e 947.º e 948.º e 949.º e 950.º e 951.º e 952.º e 953.º e 954.º e 955.º e 956.º e 957.º e 958.º e 959.º e 960.º e 961.º e 962.º e 963.º e 964.º e 965.º e 966.º e 967.º e 968.º e 969.º e 970.º e 971.º e 972.º e 973.º e 974.º e 975.º e 976.º e 977.º e 978.º e 979.º e 980.º e 981.º e 982.º e 983.º e 984.º e 985.º e 986.º e 987.º e 988.º e 989.º e 990.º e 991.º e 992.º e 993.º e 994.º e 995.º e 996.º e 997.º e 998.º e 999.º e 1000.º e 1001.º e 1002.º e 1003.º e 1004.º e 1005.º e 1006.º e 1007.º e 1008.º e 1009.º e 1010.º e 1011.º e 1012.º e 1013.º e 1014.º e 1015.º e 1016.º e 1017.º e 1018.º e 1019.º e 1020.º e 1021.º e 1022.º e 1023.º e 1024.º e 1025.º e 1026.º e 1027.º e 1028.º e 1029.º e 1030.º e 1031.º e 1032.º e 1033.º e 1034.º e 1035.º e 1036.º e 1037.º e 1038.º e 1039.º e 1040.º e 1041.º e 1042.º e 1043.º e 1044.º e 1045.º e 1046.º e 1047.º e 1048.º e 1049.º e 1050.º e 1051.º e 1052.º e 1053.º e 1054.º e 1055.º e 1056.º e 1057.º e 1058.º e 1059.º e 1060.º e 1061.º e 1062.º e 1063.º e 1064.º e 1065.º e 1066.º e 1067.º e 1068.º e 1069.º e 1070.º e 1071.º e 1072.º e 1073.º e 1074.º e 1075.º e 1076.º e 1077.º e 1078.º e 1079.º e 1080.º e 1081.º e 1082.º e 1083.º e 1084.º e 1085.º e 1086.º e 1087.º e 1088.º e 1089.º e 1090.º e 1091.º e 1092.º e 1093.º e 1094.º e 1095.º e 1096.º e 1097.º e 1098.º e 1099.º e 1100.º e 1101.º e 1102.º e 1103.º e 1104.º e 1105.º e 1106.º e 1107.º e 1108.º e 1109.º e 1110.º e 1111.º e 1112.º e 1113.º e 1114.º e 1115.º e 1116.º e 1117.º e 1118.º e 1119.º e 1120.º e 1121.º e 1122.º e 1123.º e 1124.º e 1125.º e 1126.º e 1127.º e 1128.º e 1129.º e 1130.º e 1131.º e 1132.º e 1133.º e 1134.º e 1135.º e 1136.º e 1137.º e 1138.º e 1139.º e 1140.º e 1141.º e 1142.º e 1143.º e 1144.º e 1145.º e 1146.º e 1147.º e 1148.º e 1149.º e 1150.º e 1151.º e 1152.º e 1153.º e 1154.º e 1155.º e 1156.º e 1157.º e 1158.º e 1159.º e 1160.º e 1161.º e 1162.º e 1163.º e 1164.º e 1165.º e 1166.º e 1167.º e 1168.º e 1169.º e 1170.º e 1171.º e 1172.º e 1173.º e 1174.º e 1175.º e 1176.º e 1177.º e 1178.º e 1179.º e 1180.º e 1181.º e 1182.º e 1183.º e 1184.º e 1185.º e 1186.º e 1187.º e 1188.º e 1189.º e 1190.º e 1191.º e 1192.º e 1193.º e 1194.º e 1195.º e 1196.º e 1197.º e 1198.º e 1199.º e 1200.º e 1201.º e 1202.º e 1203.º e 1204.º e 1205.º e 1206.º e 1207.º e 1208.º e 1209.º e 1210.º e 1211.º e 1212.º e 1213.º e 1214.º e 1215.º e 1216.º e 1217.º e 1218.º e 1219.º e 1220.º e 1221.º e 1222.º e 1223.º e 1224.º e 1225.º e 1226.º e 1227.º e 1228.º e 1229.º e 1230.º e 1231.º e 1232.º e 1233.º e 1234.º e 1235.º e 1236.º e 1237.º e 1238.º e 1239.º e 1240.º e 1241.º e 1242.º e 1243.º e 1244.º e 1245.º e 1246.º e 1247.º e 1248.º e 1249.º e 1250.º e 1251.º e 1252.º e 1253.º e 1254.º e 1255.º e 1256.º e 1257.º e 1258.º e 1259.º e 1260.º e 1261.º e 1262.º e 1263.º e 1264.º e 1265.º e 1266.º e 1267.º e 1268.º e 1269.º e 1270.º e 1271.º e 1272.º e 1273.º e 1274.º e 1275.º e 1276.º e 1277.º e 1278.º e 1279.º e 1280.º e 1281.º e 1282.º e 1283.º e 1284.º e 1285.º e 1286.º e 1287.º e 1288.º e 1289.º e 1290.º e 1291.º e 1292.º e 1293.º e 1294.º e 1295.º e 1296.º e 1297.º e 1298.º e 1299.º e 1300.º e 1301.º e 1302.º e 1303.º e 1304.º e 1305.º e 1306.º e 1307.º e 1308.º e 1309.º e 1310.º e 1311.º e 1312.º e 1313.º e 1314.º e 1315.º e 1316.º e 1317.º e 1318.º e 1319.º e 1320.º e 1321.º e 1322.º e 1323.º e 1324.º e 1325.º e 1326.º e 1327.º e 1328.º e 1329.º e 1330.º e 1331.º e 1332.º e 1333.º e 1334.º e 1335.º e 1336.º e 1337.º e 1338.º e 1339.º e 1340.º e 1341.º e 1342.º e 1343.º e 1344.º e 1345.º e 1346.º e 1347.º e 1348.º e 1349.º e 1350.º e 1351.º e 1352.º e 1353.º e 1354.º e 1355.º e 1356.º e 1357.º e 1358.º e 1359.º e 1360.º e 1361.º e 1362.º e 1363.º e 1364.º e 1365.º e 1366.º e 1367.º e 1368.º e 1369.º e 1370.º e 1371.º e 1372.º e 1373.º e 1374.º e 1375.º e 1376.º e 1377.º e 1378.º e 1379.º e 1380.º e 1381.º e 1382.º e 1383.º e 1384.º e 1385.º e 1386.º e 1387.º e 1388.º e 1389.º e 1390.º e 1391.º e 1392.º e 1393.º e 1394.º e 1395.º e 1396.º e 1397.º e 1398.º e 1399.º e 1400.º e 1401.º e 1402.º e 1403.º e 1404.º e 1405.º e 1406.º e 1407.º e 1408.º e 1409.º e 1410.º e 1411.º e 1412.º e 1413.º e 1414.º e 1415.º e 1416.º e 1417.º e 1418.º e 1419.º e 1420.º e 1421.º e 1422.º e 1423.º e 1424.º e 1425.º e 1426.º e 1427.º e 1428.º e 1429.º e 1430.º e 1431.º e 1432.º e 1433.º e 1434.º e 1435.º e 1436.º e 1437.º e 1438.º e 1439.º e 1440.º e 1441.º e 1442.º e 1443.º e 1444.º e 1445.º e 1446.º e 1447.º e 1448.º e 1449.º e 1450.º e 1451.º e 1452.º e 1453.º e 1454.º e 1455.º e 1456.º e 1457.º e 1458.º e 1459.º e 1460.º e 1461.º e 1462.º e 1463.º e 1464.º e 1465.º e 1466.º e 1467.º e 1468.º e 1469.º e 1470.º e 1471.º e 1472.º e 1473.º e 1474.º e 1475.º e 1476.º e 1477.º e 1478.º e 1479.º e 1480.º e 1481.º e 1482.º e 1483.º e 1484.º e 1485.º e 1486.º e 1487.º e 1488.º e 1489.º e 1490.º e 1491.º e 1492.º e 1493.º e 1494.º e 1495.º e 1496.º e 1497.º e 1498.º e 1499.º e 1500.º e 1501.º e 1502.º e 1503.º e 1504.º e 1505.º e 1506.º e 1507.º e 1508.º e 1509.º e 1510.º e 1511.º e 1512.º e 1513.º e 1514.º e 1515.º e 1516.º e 1517.º e 1518.º e 1519.º e 1520.º e 1521.º e 1522.º e 1523.º e 1524.º e 1525.º e 1526.º e 1527.º e 1528.º							

Neste quadro são anotados os problemas, o molde, a máquina e o turno no qual surgiu o dado problema, as possíveis causas raiz, e respetivos métodos e contenção e correção. Também fica registado a percentagem de peças rejeitadas que esse problema originou. Todas as ocorrências são registadas numa base de dados no excel (Figura F2, F3 e F4 dos Anexos), no qual permanecem mesmo após estarem resolvidos.

Fruto da implementação da Equipa de Resolução de Problemas, verificou-se que existiam não conformidades recorrentes, que não eram detetadas imediatamente pelo operador, as quais advinham essencialmente da instabilidade dos processos (35 %) e de problemas nos moldes (29 %), como demonstrado na Figura 3.3. Como a alteração e/ou correção dos moldes não se encontra ao alcance de uma resolução por parte do Departamento da Qualidade, o foco foi para a resolução da instabilidade dos processos.

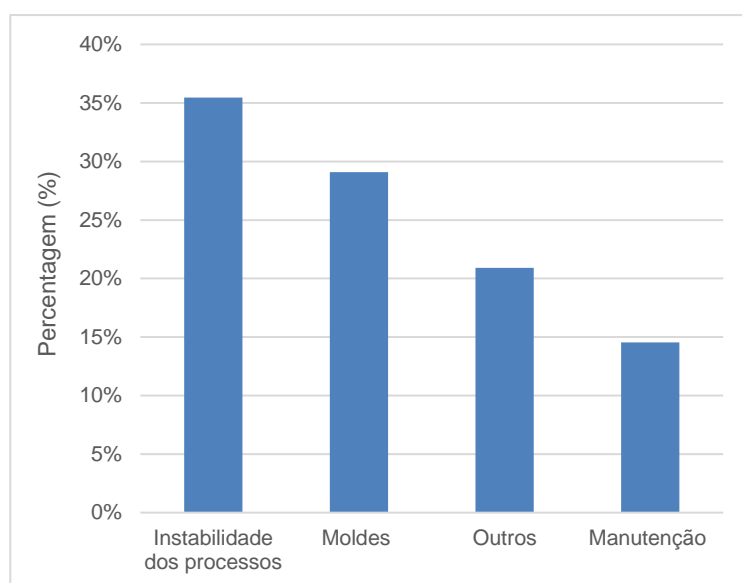


Figura 3.3. Gráfico referente à percentagem das Causas raiz das Não conformidades dos processos de injeção ao longo de 10 meses. Outros: Falhas do operador e contaminações.

A categorização que se pode observar na Figura 3.3, está descrita a seguir:

- Instabilidade dos processos – quando os defeitos são resultado de variações nos parâmetros da máquina;
- Moldes – quando surgem problemas relacionados com conceito do molde, danos no molde causados em produção e/ou problemas provocados por desgaste do molde;
- Manutenção – quando surgem danos na infraestrutura da máquina de injeção e ou em infraestruturas que a complementem, à exceção dos moldes;
- Outros – falhas do operador, contaminações e deformações nas peças (ex. empenos).

Face à instabilidade dos processos de injeção, constatou-se que havia a necessidade de implementar uma metodologia capaz de controlar o processo durante a produção, de modo a

assegurar uma detecção e respetiva ação imediata perante uma variabilidade no processo. Perante esta necessidade, analisou-se a viabilidade e eficácia da implementação do Autocontrolo da massa dos produtos injetados durante as produções.

3.2 Análise de parâmetros de fabrico

Para uma primeira análise do impacto da variabilidade dos parâmetros do processo na massa das peças, elegemos três parâmetros: o tempo de ciclo, o tempo de injeção e a almofada, definidos na secção 2.1 da Introdução. Considerou-se que para esta análise se conseguia uma amostragem representativa de 1 peça por hora ao longo de 50 horas. Para este estudo selecionou-se o molde M827 e a máquina de injeção de D280, que tem carga até 280 toneladas. Neste molde é injetada a matéria prima, a PA6 GF30 Ultramid B3 EG6 Natural (poliamida). A recolha de peças teve início no dia 06/04/2022 às 8h e término no dia 08/04/2022 às 9h, dando um total de 50 peças recolhidas.

No sentido de estudar o efeito das condições de injeção (tempo de ciclo, tempo de injeção e posicionamento da almofada) foram registadas as pesagens e as dimensões de peças fabricadas ao longo de três dias de produção.

Para este efeito foi registada as condições de produção e de modo a poder caraterizar esses valores sob a forma de valor mínimo, valor máximo, amplitude máximo-mínimo, média, desvio padrão, percentis 0,025, 0,250, 0,500, 0,750 e 0,975 e respetivos sub espaços interquartis [0,250-0,025], [0,500-0,250], [0,750-0,500], [0,975-0,750] e [0,750-0,250] em cada período de hora de trabalho. As respostas observadas em cada período foram estudadas em relação às respostas massa da peça e respetiva dimensão.

A matriz inicial de dados era composta de 50 amostras contendo duas respostas massa da peça (y_1) e dimensão respetiva (y_2) para serem estudadas em relação a 43 preditores diretos (x_{01} - x_{42}).

Dado que a modelação multivariada polinomial apenas prevê respostas simples e lineares, a matriz inicial de dados foi expandida de forma a incluir termos “raiz” (R01-R42), termos “quadráticos” (Q01-Q42) e inversos (I01-I42) de modo que a matriz expandida de dados possuía um total de 168 preditores.

No sentido de evitar efeitos de escala e para evidenciar a relevância de cada variável de que o modelo depende, os preditores foram todos auto-escalados de forma a possuírem valores compreendidos entre 0 e 1.

Para verificar as dependências das condições de fabrico foi adotada uma estratégia de modelação multivariada construtiva com recurso ao critério de *Akaike* (AIC) [Equação 2.6] e *Bayesiano* (BIC) [Equação 2.7]. Uma vez que não se conhece o modelo correto, segundo este ponto de vista de modelação por escolha otimizada de parâmetros, os modelos são inicializados

com um número muito restrito de dependências e depois deixa-se “crescer” ou “restringir” os modelos com base na otimização paramétrica supervisionada pelos critérios AIC e BIC.

No sentido de usar os melhores preditores possíveis efetua-se um estudo inicial de correlação, calculam-se os coeficientes de determinação entre os preditores e cada resposta em causa. Os maiores termos são usados como eventuais preditores para iniciação dos modelos a desenvolver.

Para ter mais confiança no estudo é necessário obter um número elevado de modelos possíveis e depois efetuar a escolha do melhor modelo com base em indicadores de desempenho.

Na escolha de modelos é importante considerar não só o número de parâmetros do modelo bem como a sua capacidade a descrever os valores ajustados (qualidade no ajuste) bem como capacidade de prever novos valores (qualidade de previsão).

3.3 Implementação do Autocontrolo




Com o intuito de otimizar um método de controlo em tempo real, procedeu-se à averiguação da eficácia do autocontrolo da massa das peças durante os processos de injeção.

O autocontrolo possui como objetivos básicos:

- Mostrar evidências da estabilidade do processo;
- Atuação imediata perante a ocorrência de variações no processo, garantido assim as correções no momento, de forma a evitar a produção de peças com defeito;
- Direcionar as ações no sentido de melhoria da capacidade do processo, de modo a garantir a sua estabilidade;
- Cumprir com o controlo estatístico, nomeadamente com o C_{pk} recomendado ($cpk=1.33$), controlando e escolhendo os limites através de uma recolha de peças atualizada e decidida durante uma reunião semanal feita para esse efeito.

Com este propósito em mente, definiu-se que a melhor forma de alcançar um maior impacto positivo na produtividade da empresa começaria pela sua implementação nas peças que maior influência tem no lucro da empresa, e por isso ordenou-se os produtos que perfaçam cerca de 80 % da faturação da empresa (relativo ao ano 2021). Nesta análise selecionou-se 53 peças, que correspondiam a 20 % das peças produzidas. Na Tabela S1 dos Anexos encontra-se demonstrada uma amostra de 40 peças desta base de dados. Fruto desta análise, elegeram-se 3 produtos para investigar como caso de estudo, e que podem ser observados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Tabela descritiva dos produtos utilizados no caso de estudo.

Nº Molde	Designação do produto	Imagem	Contribuição na faturação (%)	Sector
M820	<u>Supporting Plate #922</u>		11,46 %	Automóvel
M972	Carrier 10389-068/0011		5,14 %	Automóvel
M649	<u>Housing #422</u>		-	Termotecnologia

De modo a otimizar o autocontrolo não só em produtos do sector automóvel, mas também na área da termotecnologia, elegeram-se o produto correspondente ao molde M649.

Definiu-se um conjunto de passos a seguir de modo a alcançar a otimização do autocontrolo e que se encontram demonstrados na Figura 3.4.

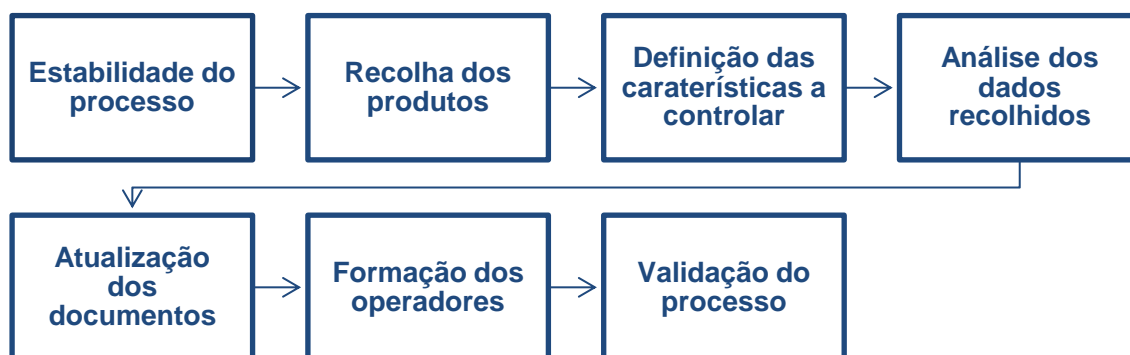


Figura 3.4. Esquematização da metodologia utilizada na otimização do Autocontrolo.

Para que esta implementação seja eficiente e representativa da realidade, é crucial que o processo esteja estabilizado, pois sem o processo estável não se consegue garantir a repetibilidade dos resultados e das variáveis para todos os processos de injeção do mesmo molde e na mesma máquina.

1. Estabilidade do processo

Durante as primeiras 24 horas do processo tem de se garantir que os parâmetros (tempo de ciclo, tempo de injeção e almofada da massa) não sofrem grande variabilidade. Usualmente, estes dados são exportados do programa da máquina de injeção e usados na criação de um gráfico e assim verificar facilmente a existência ou não de estabilidade no processo. Caso não haja garantias da sua estabilidade, não se avança para o passo seguinte.

2. Recolha das peças durante a produção

Durante as produções analisadas efetuou-se a recolha de 1 peça por hora durante 24 horas, durante a qual, os operadores exerciam a função de pesar as peças e fazer registo dos valores obtidos.

3. Definição das características a controlar

Após a recolha das peças, o departamento da qualidade tem a função de determinar quais as características a serem estudadas, sendo que a massa das peças é sempre eleita. Normalmente, a complementar a massa seleciona-se a dimensão maior de cada peça como a 2^o característica a estudar. As tolerâncias da dimensão maior estão predefinidas para todas as peças, como cota de controlo diário (requisito de cliente). Para a pesagem da massa, a metrologia tem disponíveis balanças analíticas (0,001 g) e semi-analíticas (0,01 g). A máquina de QI e os gabaritos são o meio principal de obter as dimensões das peças.

4. Análise dos dados recolhidos

Após termos os dados todos recolhidos e com base no conhecimento obtido através da pesquisa bibliográfica, elegeram-se os melhores métodos para analisar os dados recolhidos:

- Avaliar a evolução dos parâmetros principais ao longo da produção;
- Avaliar a evolução da massa ao longo do tempo (Comparação entre a massa obtida pelo operador com a massa obtida pela qualidade);
- Controlo estatístico da massa e da dimensão das peças;

De modo que esta análise seja repetível e credível para todos os moldes aos quais se queiram implementar Autocontrolo, criou-se uma base de tratamento de dados, em formato excel. Neste coloca-se os valores obtidos das pesagens e dimensões das peças durante a recolha de 24 horas e procedeu-se a uma análise preliminar na qual se calculou a média, valor mínimo, valor máximo e amplitude, como demonstrado na Tabela S2 dos Anexos.

Procedeu-se ao estudo de capacidade destes valores com o cálculo do Cpk , e usando como valor nominal a média dos dados obtidos, e como respetivos limites, utiliza-se 1 % da média como tolerância, ou seja, 0,5 % para o limite superior e 0,5 % para o inferior. Com base na literatura, sabe-se que o valor de Cpk fornece um valor de excelência demonstrada pelo processo, e que o valor que determina se um processo é capaz ou não, ficou definido quando o $Cpk > 1,33$, valor este que indica que o processo possui uma conformidade de 99,4 %.

O objetivo durante o estudo de capacidade é encontrar um valor de limites, superior e inferior (LSE e LIE), que através de testes aproxime, o mais possível, o Cpk de 1,33.

5. Atualização dos documentos

No processo diário de produção, os operadores têm disponível a gama de controlo, um documento que lhes indica quais são os aspetos visuais e as características de cada produto injetado. Este documento está exemplificado na Figura F5 dos Anexos. Sabendo isto, é importante que após a otimização dos limites de controlo da massa das peças (LSE e LIE), se atualize a gama de controlo, respetiva a molde, de modo a dar a conhecer aos operadores que ocorreu essa alteração e para quais valores.

6. Formação dos operadores

Após definidas as especificações da massa das peças, procede-se à formação dos operadores. Este passo é essencial pois são os operadores que estão presentes durante o processo de injeção e por isso, são a primeira linha de deteção de possíveis desvios que possam ocorrer. As pesagens das peças são feitas e registadas numa folha específica para o efeito de duas em duas horas. Caso a massa saia fora dos limites de especificação determinados, o operador reporta o sucedido ao chefe de turno que irá avaliar a causa do desvio e executa as ações necessárias à sua correção.

7. Validação do processo de Autocontrolo

A última fase do processo da otimização do Autocontrolo é a validação do mesmo. Para este ponto, avalia-se os valores das pesagens durante três produções e analisa-se se existiu um desvio em relação aos limites definidos, e caso ocorra, a sua causa.

Este método de controlo de produção fornece assim uma segurança no processo de injeção, tanto para o operador como para o departamento de produção e da qualidade, e por consequência para toda a estrutura da empresa, de que o processo está, no mínimo, 99,4 % capaz.

3.4 Auditorias de Kamishibai

Determinou-se que um método potencialmente eficaz para a monitorização do processo de injeção seria as Auditorias de Kamishibai.

Desenvolveu-se uma metodologia de implementação das auditorias no chão de fábrica, e na qual se destacava dois passos importantes:

- Desenvolvimento de uma lista de verificação de itens a auditar (cartões);
- Criação de um plano de ações (quadro).

Os cartões foram desenvolvidos com o objetivo de, no menor número de questões, o auditor obter um conhecimento geral do estado de funcionamento do processo, e de estes demonstrarem, rapidamente e a todas as pessoas, essa mesma informação. Para a seleção dos itens a auditar privilegiou-se a verificação do processo de preparação de matérias primas, parâmetros do processo de injeção e a formação do operador responsável por aquela produção.

Para definir as características a auditar, privilegiou-se os itens críticos no processo de injeção, pela influência que têm na estabilidade do processo e também na produção e controlo do produto:

- verificação do processo de preparação de matérias-primas;
- verificação de parâmetros do processo de injeção;
- verificação dos registos de limpeza do molde;
- verificação dos registos de auto controlo da massa (peso);
- verificação da existência de formação do operador.

Estes itens estão descritos na Tabela S3 dos Anexos. De modo a uma fácil interpretação dos cartões por todos os intervenientes no processo fabril, estes são caracterizados por frente e verso preenchidos de igual forma, mas de diferentes cores de fundo: uma vermelha e outra verde, de modo a ser facilmente perceptível a pessoas sem muito conhecimento sobre os processos, perceber o estado e a evolução dos processos, como exemplificado na Figura 3.5.

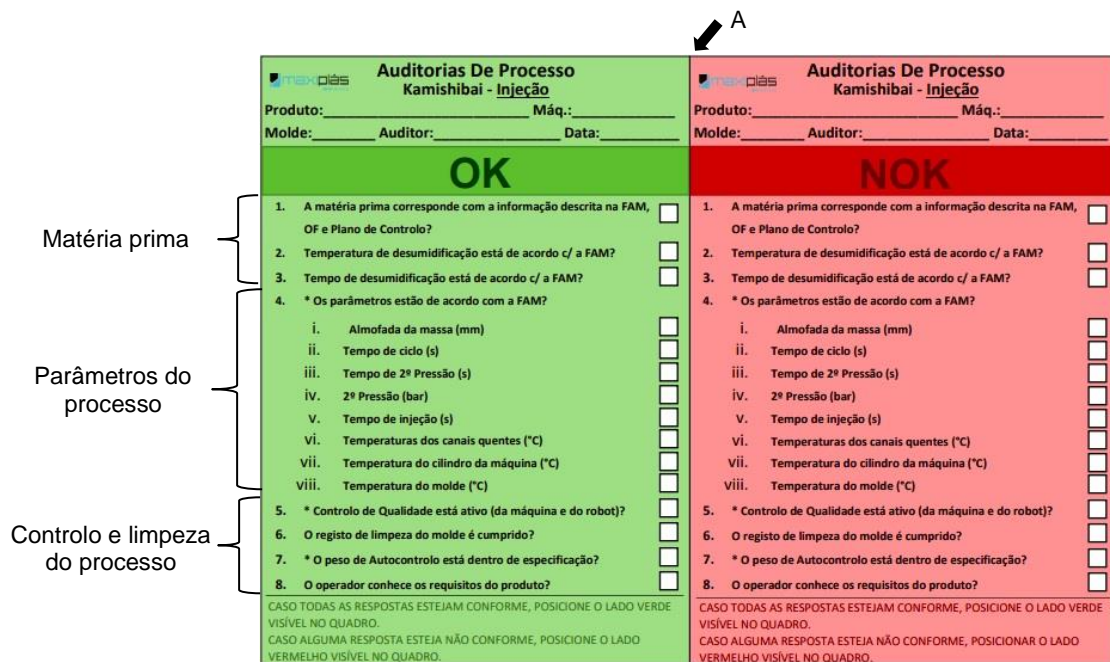


Figura 3.5. Imagem ilustrativa dos cartões de Kamishibai. A linha assinalada pela letra A é dobrada, fazendo um cartão com frente e verso.

De modo a que a informação das auditorias estar visível para todos no chão de fábrica, foi desenvolvido um quadro (Figura 3.6) no qual estão visíveis (semanalmente) as informações mais importantes relativas às auditorias, proporcionando uma rápida leitura do estado dos processos. O quadro foi conseguido e colocado numa zona estratégica da produção, um local de passagem, e nele coloca-se o cartão com o lado verde ou vermelho visível, consoante os resultados da auditoria, bem como o nome do auditor e a máquina auditada. Se o processo auditado não apresentar nenhuma não conformidade, o cartão é colocado com o lado verde visível, mas caso

haja pelo menos uma não conformidade, o cartão é colocado com o lado vermelho visível, e procede-se ao preenchimento do Plano de ações do quadro.

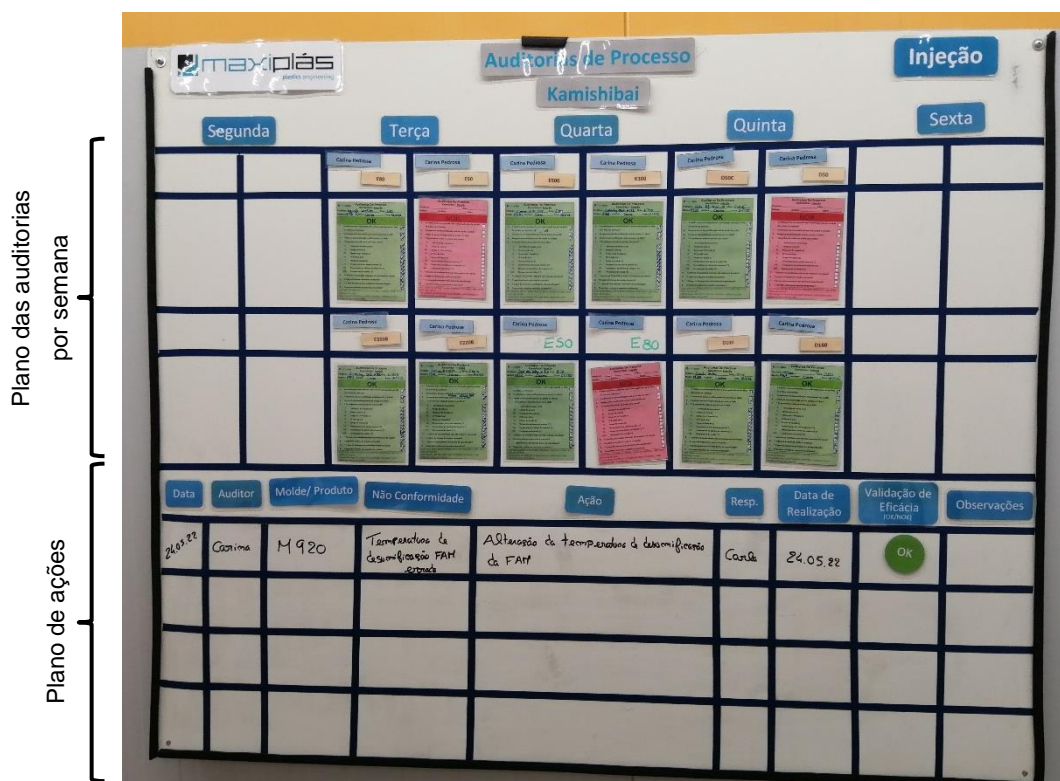


Figura 3.6. Quadro de Kamishibai da Maxiplus.

O tempo de duração máxima para corrigir as não conformidades é de 48 horas, à exceção das questões assinaladas com um asterisco (*), e que têm um tempo máximo de atuação de 24 horas.

Durante este projeto tive a oportunidade de participar em pelo menos seis auditorias semanais, desde a 14ª semana do ano até à 22ª semana, tendo resultado num total de 82 auditorias realizadas em diferentes máquinas e moldes. Com os dados obtidos através da realização das auditorias, procedeu-se à sua respetiva análise (capítulo 4, secção 4.3) de modo a perceber quais as não conformidades mais recorrentes, qual a sua origem e a sua evolução ao longo das 9 semanas de estudo, tanto para avaliar as metodologias dos processos desenvolvidos e otimizados, como o próprio impacto das auditorias nos processos.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e tratamentos efetuados com vista em analisar e, conseqüentemente, otimizar o processo de injeção através de análise multivariada dos parâmetros do processo de injeção e da averiguação da viabilidade da utilização de metodologias de controlo e monitorização.

4.1 Análise multivariada

Neste estudo a variável y_1 corresponde à massa da peça do molde M827 e no qual as variáveis independentes eram os preditores (x) e as variáveis dependentes eram as respostas (y). Sendo que a base de dados era constituída por duas variáveis dependentes, o y_1 que correspondia à massa do produto e o y_2 , referente à dimensão da peça. Neste estudo foi utilizada uma base de dados da indústria de peças de automóvel, sendo esta definida por uma matriz

$$D_{(n \times (p+r))} = [X_{(n \times p)} Y_{(n \times r)}] \quad (4.1)$$

na qual $n=50$ amostras (métodos de medição), $p=3$ preditores e $r=24$ respostas.

4.1.1 Massa da peça

A massa da peça, resposta aqui representada pela resposta y_1 é representada por um conjunto de valores compreendidos entre 184,24 e 184,86 e com valor médio de 184,50. No estudo da massa da peça (y_1) foi efetuado o diagnóstico inicial através dos coeficientes de determinação. A identificação das respetivas variáveis encontra-se representada na Tabela S4 dos Anexos. Na Figura 4.1 encontram-se os melhores preditores encontrados.

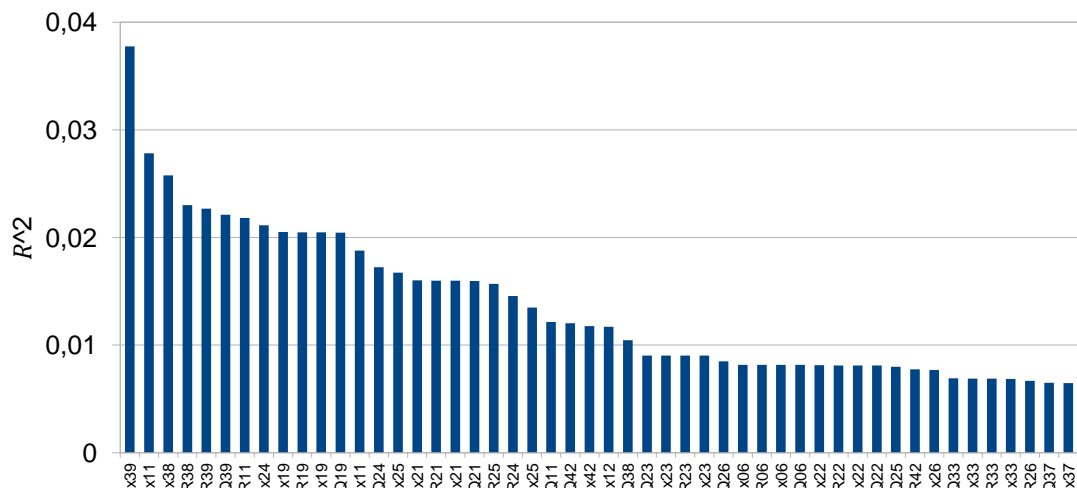


Figura 4.1. Representação ordenada dos melhores coeficientes de determinação encontrados para a resposta y_1 .

No sentido de efetuar uma pesquisa de preditores de iniciação dos modelos evolutivos de ajuste, foram selecionados aqueles que melhor se correlacionavam com a resposta. Neste sentido, foram selecionados os preditores que permitiam descrever até 50 % da melhor resposta. Com base na análise da figura anterior, para a resposta y1, foram selecionados os 15 melhores preditores para a iniciação dos modelos evolutivos.

Dado que os modelos podem conter ou não um termo constante (independente da resposta) e que foram testados dois critérios de seleção (AIC e BIC), estes 15 preditores selecionados conduziram a 60 inicializações (15 x 4) da busca de modelos por via evolutiva.

No sentido de facilitar a análise dos resultados, após as iterações de otimização paramétrica apenas foram preservados os modelos cujo coeficiente de determinação (R^2) excede o valor 0,500.

Para facilitar a triagem de modelos repetidos, os modelos a preservar foram sistematizados por ordem crescente de complexidade (de acordo com o aumento do seu número de parâmetros) e, de seguida foram eliminados os modelos similares (com as mesmas dependências funcionais) de forma a apenas preservar os modelos distintos.

Na Tabela 4.1 encontram-se reunidos os resultados obtidos na caracterização dos modelos quanto aos parâmetros de desempenho escolhidos relacionados com o ajuste (StdFit, R^2 , R^2_{adj} , AIC e BIC, ver equações 2.6 a 2.9) e previsão (RMSPE e RMSPEadj, equações 2.12 e 2.13)

Tabela 4.1. Caracterização dos modelos obtidos em termos de ajuste e previsão da resposta y1.

Modelo	ofit	gl	R^2	R^2_{adj}	AIC	BIC	RMSPE	RMSPEadj	y1 ~
m101	10,76	48	0,9967	0,9966	383,5	389,2	121,2	121,1	x19+lx19-1
m102	10,76	48	0,9967	0,9966	383,5	389,2	121,1	121,0	R19+lx19-1
m103	10,77	48	0,9967	0,9965	383,5	389,2	121,2	121,1	Q19+lx19-1
m104	10,85	48	0,9966	0,9965	384,2	390,0	3,99e9	3,91e9	x30+lx30-1
m105	10,85	48	0,9966	0,9965	384,3	390,0	1,02e11	10,0e11	R30+lx30-1
m106	10,86	48	0,9966	0,9965	384,3	390,1	1,99e11	1,95e11	Q30+lx30-1
m107	10,82	47	0,9967	0,9965	384,9	392,6	122,1	122,0	x11+lx11+x11:lx11-1
m108	10,81	47	0,9967	0,9965	384,8	392,5	122,0	121,9	R11+lx11+R11:lx11-1
m109	10,85	47	0,9967	0,9965	385,3	392,9	405,9	400,1	x38+Q30+x38:Q30-1
m110	10,86	47	0,9967	0,9965	385,4	393,0	156,1	155,3	R38+Q30+R38:Q30-1

ofit – desvio padrão do ajuste (eq.2.8); gl – número de graus de liberdade do modelo (n-p); R^2_{adj} – (eq.2.9); AIC – critério Akaike (eq.2.6); BIC – critério Bayesiano (eq.2.7) e RMSPE (eq.2.12)

Destes valores destaca-se que apesar de os modelos descreverem bem os valores experimentais (patente através dos elevados coeficientes de determinação encontrados), o erro médio de ajuste é da ordem de 5,9 % do valor médio da resposta em avaliação, razão pela qual os critérios de *Akaike* e *Bayesiano* dão valores tão elevados.

Na Tabela 4.2 encontram-se sistematizados os modelos de acordo com os respectivos desempenhos de ajuste, de previsão e global.

Tabela 4.2. Desempenho dos modelos obtidos para y_1 ordenados de acordo com o desempenho global: qualidade de ajuste (QA), qualidade de previsão (QP) e desempenho global (DG).

Modelo	QA (x 1e6)	QP (x 1e5)	DG (x 1e11)	$y_1 \sim$
m102	6,19	6,82	4,22	R19+lx19-1
m101	6,19	6,82	4,22	x19+lx19-1
m103	6,18	6,81	4,21	Q19+lx19-1
m108	6,08	6,73	4,09	R11+lx11+R11:lx11-1
m107	6,07	6,71	4,08	x11+lx11+x11:lx11-1
m110	6,04	4,12	2,49	R38+Q30+R38:Q30-1
m109	6,05	0,62	0,37	x38+Q30+x38:Q30-1
m104	6,11	0,00	0,00	x30+lx30-1
m105	6,11	0,00	0,00	R30+lx30-1
m106	6,10	0,00	0,00	Q30+lx30-1

QA – Qualidade do ajuste (eq.2.10); QP – Qualidade de previsão (eq.2.11); DG – Desempenho global (eq.2.13)

Na Figura 4.2 encontra-se representada o Desempenho Global obtida no desempenho dos modelos testados e sistematizados na Tabela 4.2.

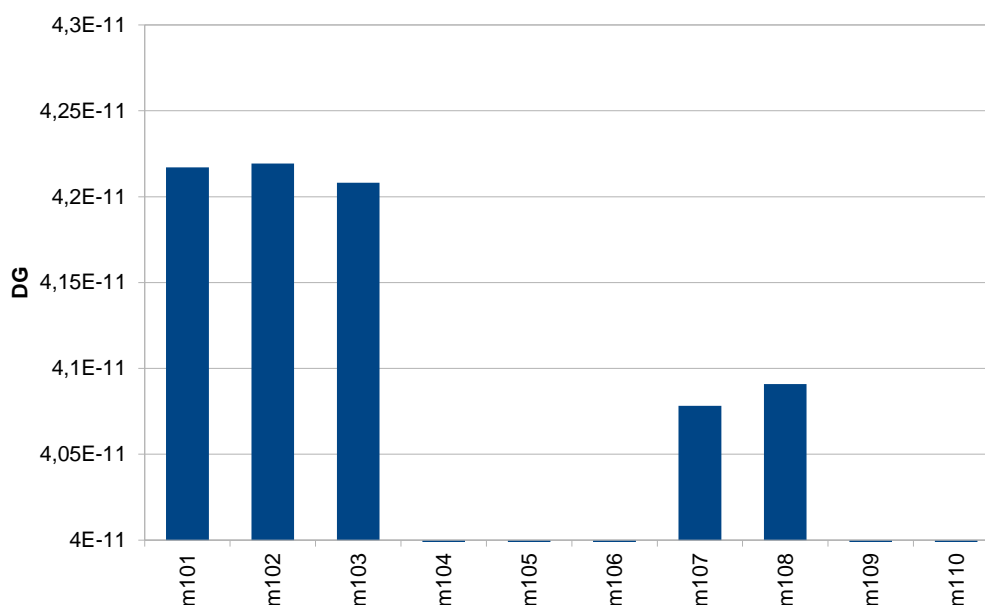


Figura 4.2. Representação do desempenho global dos modelos encontrados, caracterizados e sistematizados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

É de salientar que os valores relativos aos modelos m104, m105, m106, m109 e m110 não se encontram representados por serem valores muito pequenos (expoente -29 e -26). Na Figura

4.2 é nítida a superioridade dos modelos m101, m102 e m103 em relação aos restantes. Estes modelos não só apresentam melhor qualidade de ajuste como uma superior capacidade de previsão. Comparando os modelos m101 e m102 verifica-se uma ligeira superioridade do m102, sendo este o melhor modelo.

Assim, o melhor modelo depende exclusivamente da variável x19 (percentil 0,025 do tempo de injeção) de uma forma complexa, envolvendo a dependência com a raiz e com o respetivo inverso segundo a Equação 4.2

$$y1 = 188,0 (5,1) \cdot R19 + 179,8 (3,6) \cdot Ix19 \quad (4.2)$$

onde ambos preditores (R19 e Ix19) baseados em x19 (percentil 0,025 do tempo de injeção) possuem similar massa.

A interpretação que este modelo permite tirar é que a massa das peças (y1) depende quase exclusivamente do menor valor de tempo de injeção – dentro da aleatoriedade que determina os valores caraterísticos desta variável, o aumento do valor mínimo do tempo de injeção tem um efeito determinante no aumento da massa das peças moldadas.

4.1.2 Dimensão da peça

A dimensão da peça, representada pela resposta y2, era representada por um conjunto de valores compreendidos entre 208,15 e 208,67, e com valor médio de 208,38. Na avaliação da dimensão das peças (y2), a mesma estratégia de ajuste multivariado foi utilizada. De modo similar efetuou-se uma avaliação preliminar dos coeficientes de determinação para encontrar melhores preditores de iniciação dos modelos.

Na Figura 4.3 encontram-se representados os melhores coeficientes de determinação encontrados, ordenados de forma decrescente. A identificação das respetivas variáveis encontra-se representada na Tabela S4 dos Anexos.

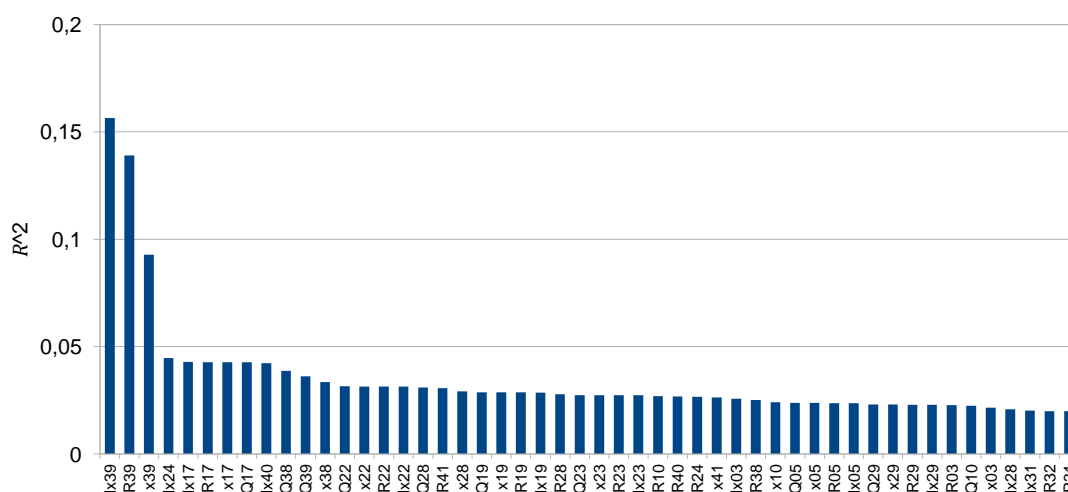


Figura 4.3. Identificação de melhores preditores para a resposta y2 através dos coeficientes de determinação ordenados.

Desta representação dos melhores preditores surgiu uma lista de 12 variáveis a serem utilizadas na inicialização de modelos que foram desenvolvidos segundo os critérios AIC e BIC, com e sem termo constante (Tabela S4 dos Anexos).

Dos 48 modelos desenvolvidos foram apenas encontrados cerca de metade de modelos com coeficientes de determinação acima da média (0,500) e, após a sua triagem, verificou-se que de fato estes correspondiam apenas a 10 modelos distintos que se encontram caracterizados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Caracterização dos modelos obtidos quanto à sua capacidade de ajuste e de previsão de novos valores.

Modelo	σ_{fit}	ndf	R ²	R ² adj	AIC	BIC	RMSPE	RMSPEadj	y2 ~
m201	0,0737	46	1,0000	1,0000	-113,1	-103,6	0,0061	0,0061	R17+lx17+Q17+lx39-1
m202	0,0737	46	1,0000	1,0000	-113,1	-103,6	0,0061	0,0061	x17+lx17+Q17+lx39-1
m203	0,0741	46	1,0000	1,0000	-112,5	-103,0	0,0062	0,0062	lx39+x39+lx17+lx39:x39-1
m204	0,0772	45	1,0000	1,0000	-107,5	-96,1	6,50e13	6,37e13	x39+R30+lx30+R41+R30:lx30-1
m205	0,0750	45	1,0000	1,0000	-110,4	-99,0	3,07e13	3,01e13	R30+lx30+lx39+lx17+R30:lx30-1
m206	0,0727	44	1,0000	1,0000	-112,7	-99,3	1,02e14	1,00e14	R30+lx30+R39+R41+lx42+R30:lx30-1
m207	0,0617	44	1,0000	1,0000	-129,0	-115,6	0,0041	0,0041	lx37+R37+lx24+R39+lx37:R37+lx24:Q07 -1
m208	0,0753	43	1,0000	1,0000	-108,2	-92,9	1,28e5	1,25e5	x38+Q30+x30+lx39+lx17+x38:Q30+x38: x30-1
m209	0,0698	43	1,0000	1,0000	-115,9	-100,6	0,0065	0,0065	lx24+R24+x24+Q23+lx39+lx24:x24+Q23 :lx39-1
m210	0,0624	43	1,0000	1,0000	-127,0	-111,7	0,0043	0,0043	lx37+R37+lx24+R39+Q07+lx37:R37+lx2 4:Q07-1

σ_{fit} – desvio padrão do ajuste (eq.2.8); gl – número de graus de liberdade do modelo (n-p); R²adj – (eq.2.9); AIC – critério Akaike (eq.2.6); BIC – critério Bayesiano (eq.2.7) e RMSPE (eq.2.12)

Nesta tabela verifica-se que a qualidade de ajuste é bem melhor que em relação ao caso anterior – o erro médio do ajuste situa-se na ordem de 0,03 % em relação ao valor médio da resposta y2 (um valor da ordem de 208,3). Este excelente ajuste é responsável por valores de AIC e BIC muito negativos.

Com base nos valores encontrados na tabela anterior, foram estimados os desempenhos no ajuste, na previsão e global tendo sido estimados os respectivos índices de qualidade expressos nas equações 2.10, 2.11 e 2.13, resultados sistematizados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Qualificação dos modelos em termos de ajuste (QA), de previsão (QP) e global (DG).

Modelo	QA (x 1e-5)	QP (x 1e-4)	DG (x 1e-9)	y2 ~
m201	1,59	2,69	4,27	R17+Ix17+Q17+Ix39-1
m202	1,59	2,69	4,27	x17+Ix17+Q17+Ix39-1
m203	1,56	2,63	4,11	Ix39+x39+Ix17+Ix39:x39-1
m204	1,34	0,00	0,00	x39+R30+Ix30+R41+R30:Ix30-1
m205	1,46	0,00	0,00	R30+Ix30+Ix39+Ix17+R30:Ix30-1
m206	1,54	0,00	0,00	R30+Ix30+R39+R41+Ix42+R30:Ix30-1
m207	2,41	5,96	14,39	Ix37+R37+Ix24+R39+Q07+Ix37:R37+Ix24:Q07-1
m208	1,34	0,00	0,00	x38+Q30+x30+Ix39+Ix17+x38:Q30+x38:x30-1
m209	1,67	2,35	3,93	Ix24+R24+x24+Q23+Ix39+Ix24:x24+Q23:Ix39-1
m210	2,27	5,45	12,39	Ix37+R37+Ix24+R39+Q07+Ix37:R37+Ix24:Q07-1

QA – Qualidade do ajuste (eq.2.10); QP – Qualidade de previsão (eq.2.11); DG – Desempenho global (eq.2.13)

Na Figura 4.4 encontra-se representada o Desempenho Global obtida no desempenho dos modelos testados e sistematizados na Tabela 4.4.

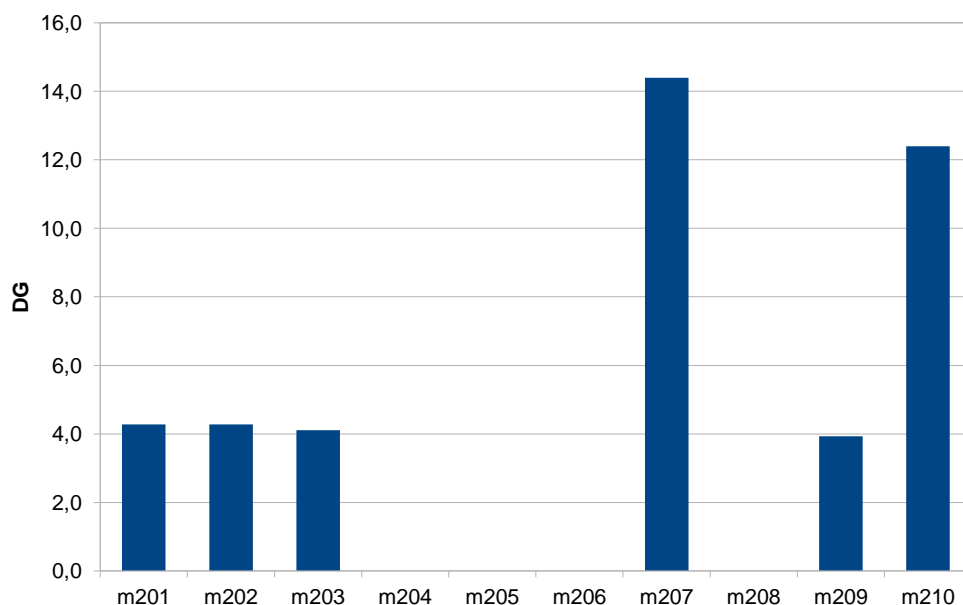


Figura 4.4. Representação do desempenho global dos modelos encontrados, caracterizados e sistematizados nas Tabelas 4.3 e 4.4.

É de salientar que os valores relativos aos modelos m204, m205, m206 e m208 não se encontram representados por serem valores muito pequenos (expoente -15 a -32). Da Figura 4.3 é nítida a superioridade dos modelos m207 e m210 em relação aos restantes. Estes modelos não só apresentam melhor qualidade de ajuste como uma superior capacidade de previsão. Comparando os modelos m207 e m210 verifica-se que o último possui mais uma dependência direta com Q07 que não possui significado estatístico (modelo não parcimonioso). Por este

motivo apenas faz sentido interpretar a resposta y_2 (dimensão) com base no modelo parcimonioso m_{207} .

A equação do melhor modelo encontrado é:

$$y_2 = 208,63 (0,04) \cdot Ix_{37} + 208,54 (0,03) \cdot R_{37} + 1,68 (0,56) \cdot Ix_{24} + 0,60 (0,15) \cdot Ix_{37} : R_{37} - 0,097 (0,033) \cdot R_{39} - 3,5 (1,1) \cdot Ix_{24} : Q_{07} \quad (4.3)$$

Segundo esta equação a variável x_{37} (percentil superior $P_{0,975}$ da almofada) é a mais relevante do modelo e surge com uma dependência muito positiva e surge de forma complexa – dependente da inversa, da respetiva raiz e ainda da interação inversa com raiz – estas dependências demonstram que quando a variável x_{37} aumenta há uma tendência para reduzir a dimensão da peça.

O modelo mostra ainda uma interação negativa entre Ix_{24} (inversa do extremo inferior da região interquantil $P[0,25-0,025]$ do tempo de injeção) e Q_{07} (quadrado da mediana do tempo de ciclo) – aumentando o tempo de ciclo e o tempo de injeção as peças tornam-se maiores (maior dimensão). Por outro lado, surge também uma dependência positiva isolada entre Ix_{24} (inversa do extremo inferior da região interquantil $P[0,25-0,025]$ do tempo de injeção) sugerindo que menor frequência de valores do extremo inferior nos tempos de injeção conduzem a um aumento da dimensão das peças.

4.1.3 Interdependência das respostas

Foi ainda testada a interdependência das respostas y_1 (massa da peça) e y_2 (dimensão da peça). Para este efeito a resposta y_2 foi inserida no conjunto de preditores a foi também processada de igual modo – expandida para raiz (R_{y_2}), quadrado (Q_{y_2}) e respetiva inversa (I_{y_2}) e todas foram subsequentemente auto escaladas.

De salientar que a interdependência direta entre y_1 e y_2 apresentava um coeficiente de determinação muito baixo, da ordem de 0,015.

Das dezasseis alternativas de ajuste possível (4 preditores x 4 modos de ajuste inicial, AIC/BIC com e sem termo independente) apenas foram obtidos oito modelos com coeficientes de determinação acima da média, de entre os quais, apenas correspondiam a três modelos distintos. A caracterização dos modelos encontrados encontra-se sistematizada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Caracterização dos modelos que relacionam a resposta y_1 (massa das peças) com todas as variáveis estudadas, incluindo a resposta dimensão da peça (y_2).

Modelo	σ_{fit}	ndf	R^2	R^2_{adj}	AIC	BIC	RMSPE	RMSPEadj	y_1
m301	10,79	48	0,9967	0,9965	383,7	389,4	120,5	120,4	y_2+ly_2-1
m302	10,79	48	0,9967	0,9965	383,7	389,4	120,5	120,4	Ry_2+ly_2-1
m303	10,79	48	0,9967	0,9965	383,7	389,4	120,4	120,3	Qy_2+ly_2-1

σ_{fit} – desvio padrão do ajuste (eq.2.8); gl – número de graus de liberdade do modelo (n-p); R^2_{adj} – (eq.2.9); AIC – critério Akaike (eq.2.6); BIC – critério Bayesiano (eq.2.7) e RMSPE (eq.2.12)

Em termos de modelos resultantes é curioso que apesar da baixa interdependência direta entre as respostas estudadas (y_1 e y_2), os restantes preditores foram simplesmente negligenciados na construção dos melhores modelos nesta segunda abordagem.

Destes valores verifica-se que, apesar de o modelo conseguir descrever bem a resposta y_1 (devido aos valores elevados no coeficiente de determinação), uma vez mais o ajuste não é de boa qualidade – o erro médio do modelo ronda de novo valores da ordem de 5 %, sendo patente também através dos valores elevados de AIC e BIC. Os modelos encontrados são também catastróficos em termos de previsão – o erro médio obtido é cerca de 10 vezes superior ao erro de ajuste e da ordem de grandeza do próprio valor médio da variável.

Na Tabela 4.6 encontra-se estimados os desempenhos de ajuste, previsão e global para estes modelos encontrados.

Tabela 4.6. Desempenho dos modelos que relacionam a resposta y_1 com todas as variáveis estudadas.

Modelo	QA (x 1e6)	QP (x 1e5)	DG (x 1e11)	$y_1 \sim$
m301	6,161	6,898	4,249	y_2+ly_2-1
m302	6,161	6,897	4,249	Ry_2+ly_2-1
m303	6,161	6,900	4,251	Qy_2+ly_2-1

QA – Qualidade do ajuste (eq.2.10); QP – Qualidade de previsão (eq.2.11); DG – Desempenho global (eq.2.13)

Para melhor avaliar este desempenho global de ajuste, estes valores foram representados na Figura 4.5, com a inclusão dos valores anteriormente estimados para os modelos sem ter incluído a resposta y_2 no conjunto de eventuais preditores.

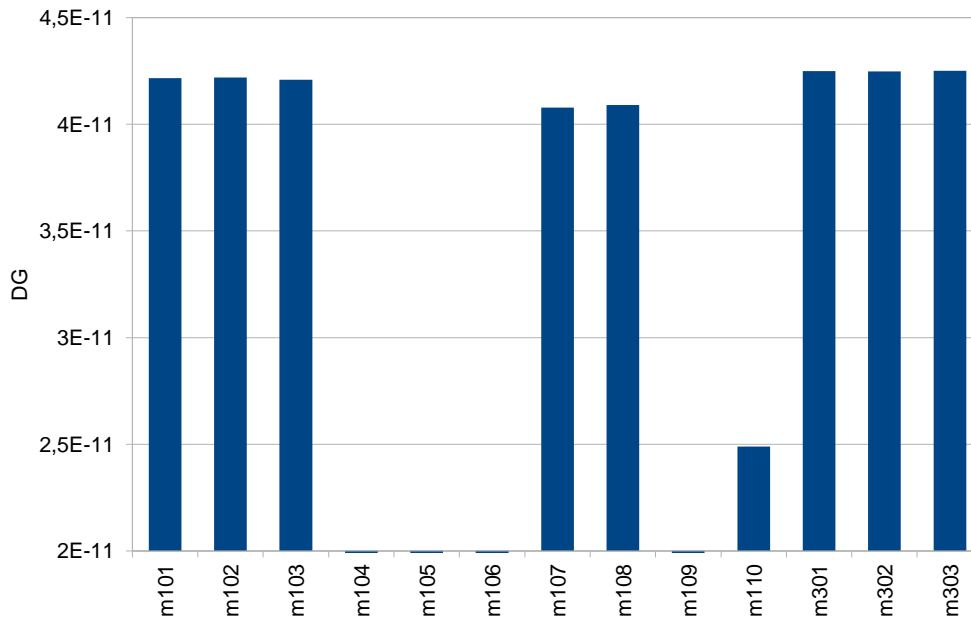


Figura 4.5. Desempenho global de todos os modelos estudados na descrição da resposta y1 (massa da peça) e y2 (dimensão da peça).

É de salientar que os valores relativos aos modelos m104, m105, m106 e m109 não se encontram representados por serem valores muito pequenos. Desta Figura se conclui que existe de fato uma interdependência complexa entre a resposta y1 e a resposta y2 e que esta pode ser melhor descrita através da Equação 4.4.

$$y1 = 186,9 (4,6) \cdot ly2 + 178,5 (5,6) \cdot Qy2 \quad (4.4)$$

Este modelo sugere que y1 (a massa das peças) está intimamente relacionado, de forma não linear e complexa, com a respetiva dimensão das peças (dimensão, y2), a massa depende do quadrado da dimensão (Qy2) acrescido do respetivo inverso (ly2).

4.2. Autocontrolo

Neste estudo, desenvolveu-se técnicas de estudar a capacidade das massas dos produtos seleccionados, com o qual se definiram limites de tolerância específicos a cada molde (M), e com uma garantia mínima de capacidade do processo de 99,4 %.

4.2.1. Molde M649

Para otimizar o autocontrolo no molde M649, e como explicado na secção 3, iniciou-se pela análise da estabilidade do processo. A produção deste molde teve início à 00h do dia 27/11/2021. Como se pode observar na Figura 4.6, durante as primeiras 24 horas o processo esteve estável. Comprovada a estabilidade do processo, estava apto a proceder à recolha de 24

horas. Esta teve início às 9 h no dia 28/11/2021 e que terminou às 8 h do dia 29/11/2021, e que se encontra destacado na Figura 4.6.

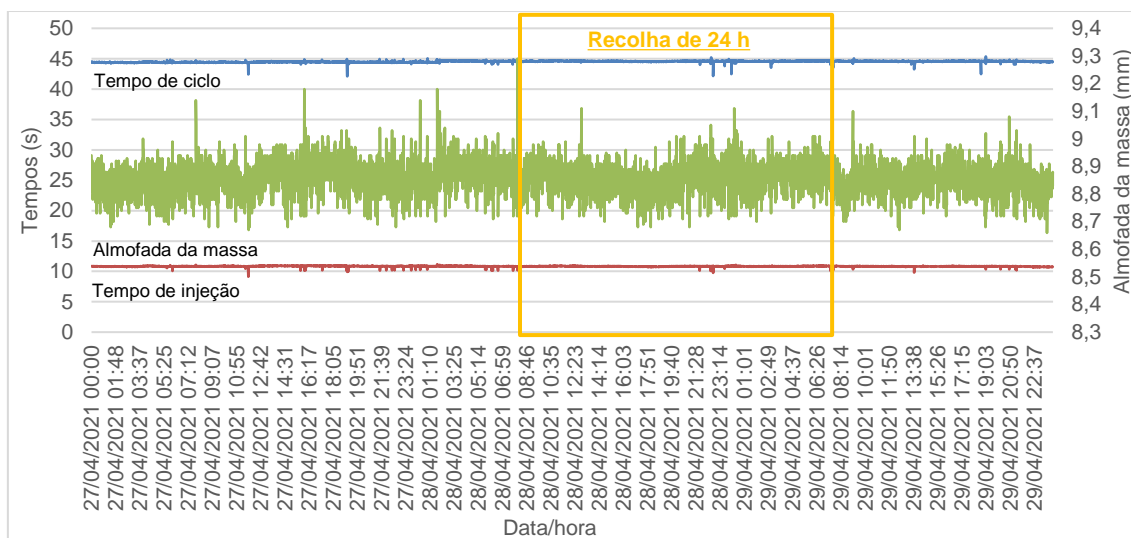


Figura 4.6. Gráfico representativo da variação de três parâmetros principais (tempo de ciclo, tempo de injeção e almofada da massa) do processo ao longo do tempo de produção, relativo ao molde M649.

Este molde só possui uma cavidade, deste modo, existiu recolha e pesagem de uma peça por hora durante 24 horas. Com os dados obtidos nas pesagens efetuadas pelos operadores durante a recolha, procedeu-se à análise da evolução da massa, e que podem ser observados no gráfico da figura 4.7. Definiu-se como Limite superior específico e inferior específico (LSE e LIE) valores criados com uma amplitude de 1 % em relação à média das pesagens. Com uma média de 91,58 g calculou-se a tolerância de $\pm 0,46$ g, originado um valor de LSE=92,04 g e de LIE=91,12 g.

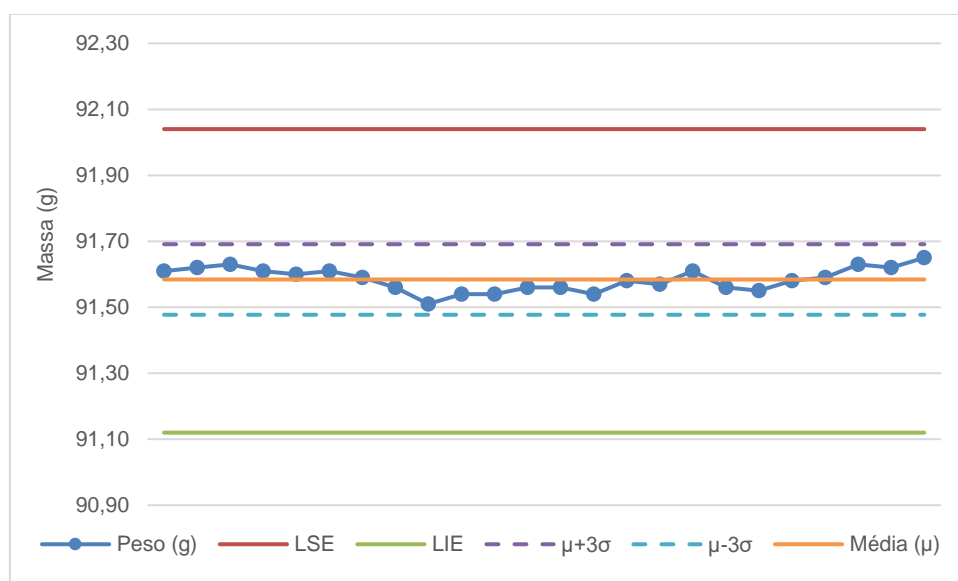


Figura 4.7. Gráfico representativo da evolução da massa durante a recolha 24 horas do molde M649.

Como é possível verificar pela observação do gráfico da Figura 4.7, a massa encontra-se dentro dos limites definidos pela amplitude de 1 % da média das pesagens. No entanto, também é possível verificar que a amplitude dos limites da massa aparenta já se encontrar bastante reduzida, com um valor 0,98 g, no entanto o seu Cpk é de 4,27, valor muito superior a 1,33. Isto indica que o processo é capaz, no entanto, os limites de tolerância são demasiado grandes, pois com estas tolerâncias seria preciso existir uma grande variação de massa para ultrapassar o LSE ou LIE, sendo conseqüentemente, necessária uma grande variação do processo. Por conseqüência, sabemos então que quanto menor for a tolerância, mais apertado vai ser o controlo da massa dos produtos, pois mais facilmente a massa ultrapassa o LSE ou LIE. Com isto em mente, procedeu-se a testes de capacidade, e recorrendo à Equação 2.15, definiram-se os valores de LSE e LIE apropriados aos objetivos da otimização do autocontrolo.

Definiram-se então os valores de LIE = 91,4 g e de LSE = 91,8 g, valores estes que correspondem a um Cpk = 1,72. Este valor dá a garantia aos operadores que o processo está capaz, aquando de uma pesagem dentro de limites, durante uma futura produção. Pela observação da Figura 4.8, é possível verificar que, comparativamente ao limite definido anteriormente, que a uma menor variação da massa, mais facilmente será detetada por desvio aos limites de tolerância, alertando os operadores.

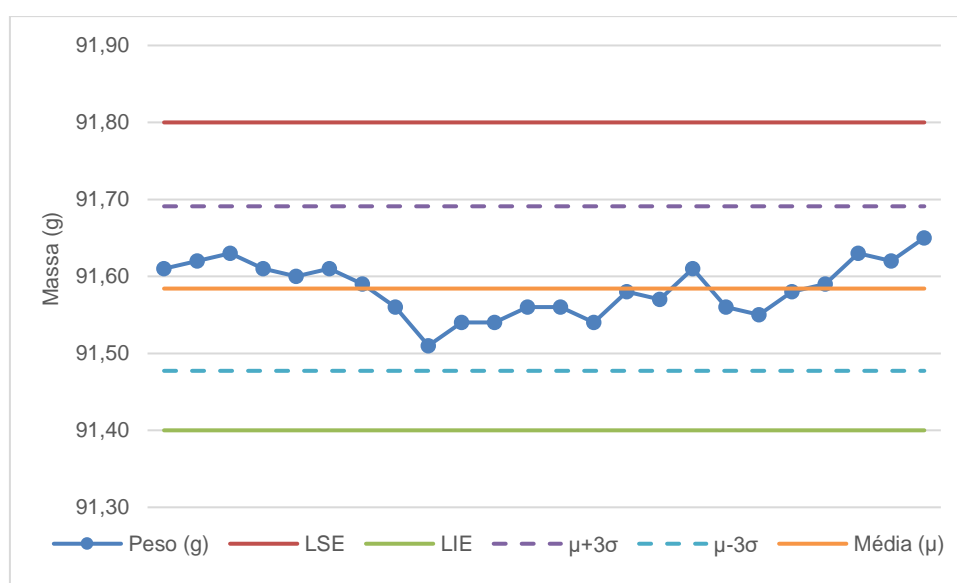


Figura 4.8. Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M649 com os limites definidos após o estudo de capacidade.

4.2.2. Molde M820

De modo a otimizar o autocontrolo no molde M820, iniciou-se a análise da estabilidade do processo. A injeção deste molde teve início à 8h51 do dia 04/03/2022. Como se pode observar na Figura 4.9, durante as primeiras 24 horas o processo esteve estabilizado, com variações mínimas dos parâmetros. Comprovada a estabilidade do processo, procedeu-se à recolha durante 24 horas com início às 9 h no dia 05/03/2022 e que terminou às 8 h do dia 06/03/2022, e que se encontra destacado na Figura 4.9.

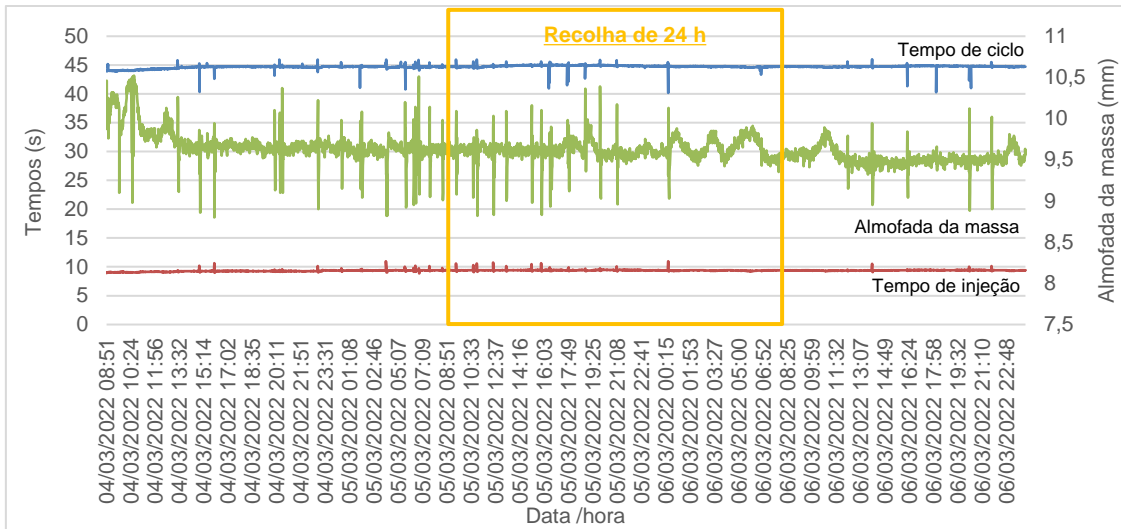


Figura 4.9. Gráfico representativo da variação de três parâmetros principais (tempo de ciclo, tempo de injeção e almofada da massa) do processo ao longo do tempo de produção, relativo ao molde M820.

Este molde só possui uma cavidade, e por isso, a recolha e pesagem foi efetuada a uma peça por hora durante 24 horas. Com os dados das pesagens obtidas pelos operadores, procedeu-se à análise da evolução da massa das peças recolhidas, e que podem ser observados no gráfico da Figura 4.10. Como determinado na metodologia da otimização do autocontrolo, calculou-se o LSE e LIE, com uma margem de 0,5 % em relação à média, e adicionou-se os valores obtidos às cartas de controlo. Como a média era de 298,66 g definiu-se como tolerância $\pm 1,49$ g, originado um valor de LSE=300,15 g e de LIE=297,17 g.

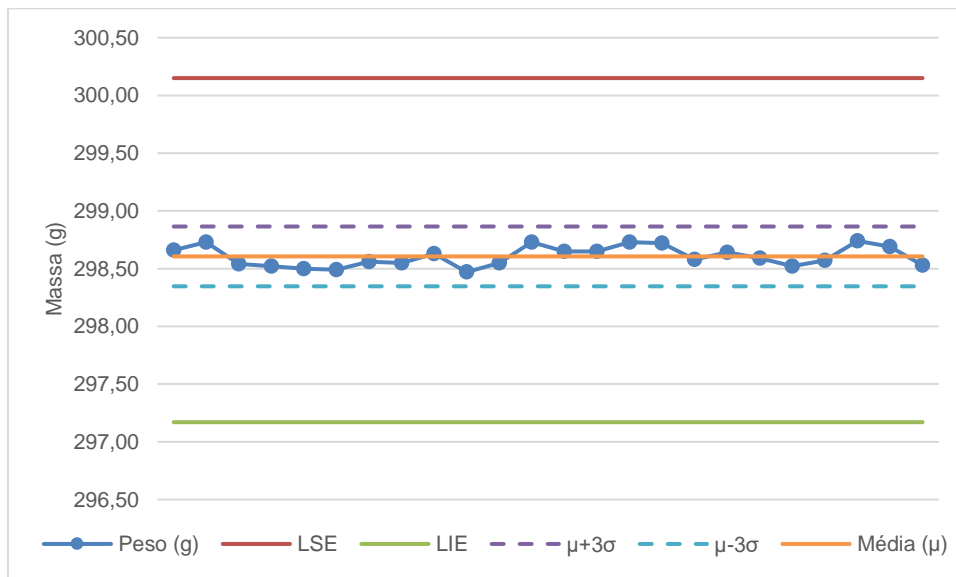


Figura 4.10. Gráfico representativo da evolução da massa durante a recolha 24 horas do molde M820.

Como é possível verificar pela observação do gráfico da Figura 4.15, a massa encontra-se dentro dos limites definidos pela margem de 1 % relativo às médias das pesagens. No entanto,

também é possível verificar que a amplitude de tolerância da massa é grande, dando mesmo uma amplitude de 2,98 g de variação da massa.

Com o intuito de perceber se o processo é capaz dentro destes limites, realizou-se um teste de capacidade de modo a obter o Cpk relativo a esta tolerância da massa. Calculou-se o Cpk (Equação 2.15), e obteve-se $Cpk = 5,54$, valor muito superior a 1,33, o que indica que, mais uma vez, o processo é capaz, mas, que os valores dos limites não permitem uma análise rigorosa do processo, com um Cpk próximo de 5. Após esta análise realizou-se o teste de capacidade deste processo, do qual resultou a alteração dos valores de LSE e LIE.

Os valores definidos para este produto foram $LIE = 298$ g $LSE = 299$ g, correspondendo a um $Cpk = 1,52$, valor que garante um processo capaz e que permite a deteção de pequenas variações de massa, e que pode ser verificado pela observação da Figura 4.11.

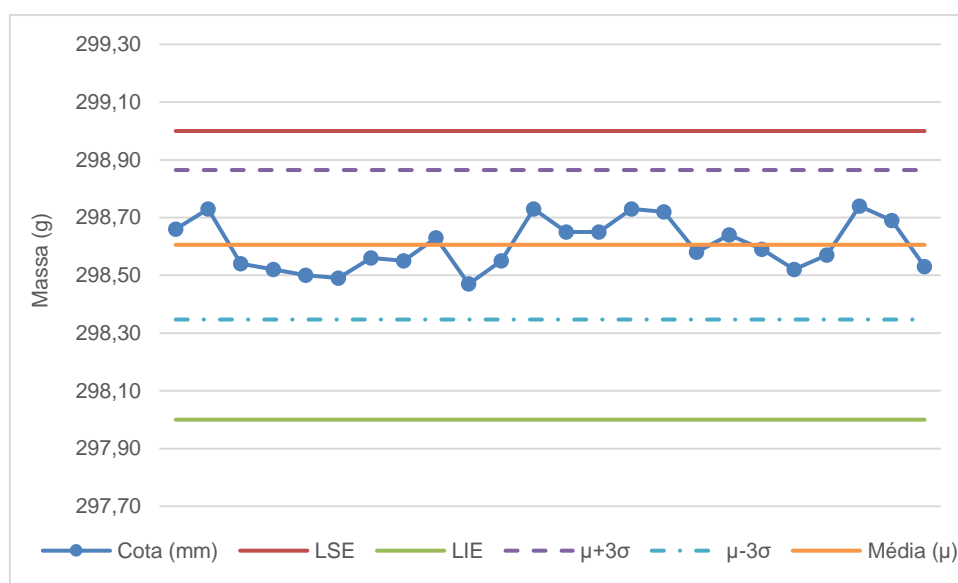


Figura 4.11. Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M820 com os limites definidos após o estudo de capacidade.

4.2.3. Molde M972

Para otimizar o autocontrolo no molde M972, iniciou-se pela análise da estabilidade do processo, como explicado anteriormente. A injeção deste molde teve início à 00 h do dia 07/04/2022. Como se pode observar na Figura 4.12, durante as primeiras 24 horas o processo esteve estabilizado. Comprovada a estabilidade do processo, procedeu-se à recolha de uma peça por hora durante 24 horas dos produtos injetados por este molde, tendo iniciado às 9 h no dia 08/04/2022 e que término às 8 h do dia 09/04/2022, em destaque na Figura 4.12.

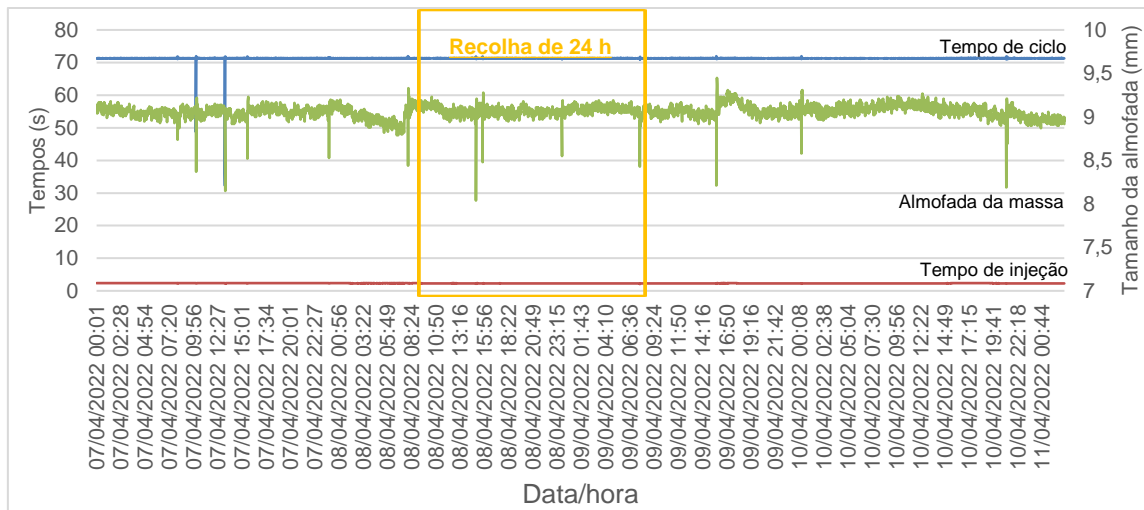


Figura 4.12. Gráfico representativo da variação de três parâmetros principais (tempo de ciclo, tempo de injeção e almofada da massa) do processo ao longo do tempo de produção, relativo ao molde M972.

Como este molde tem duas cavidades, procedeu-se à pesagem de duas peças por hora, uma de cada cavidade, de modo a conseguir efetuar o controlo da massa de ambas, pois existem sempre ligeiras diferenças estruturais entre as cavidades, que influencia a massa das peças injetadas. Com os dados das 48 pesagens procedeu-se à análise da evolução da massa das peças recolhidas, e que podem ser observados nos gráficos da Figura 4.13 e 4.14, relativos à cavidade 1 (Cav.1) e cavidade 2 (Cav.2) respetivamente. Definiu-se como Limite superior específico e inferior (LSE e LIE) valores criados com uma amplitude de 1 % em relação à média das pesagens. Como a média era de 243,47 g para a Cav.1 e para a Cav. 2, definiu-se uma tolerância de $\pm 1,22$ g (valor correspondente a 0,5 % da média), originado um valor de LSE=244,69 g e de LIE=242,25 g.

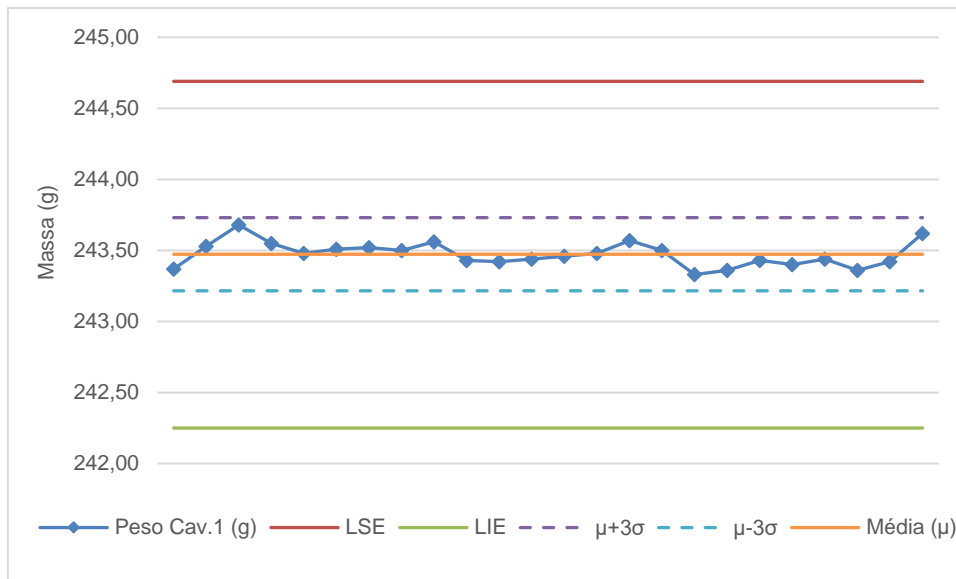


Figura 4.13. Gráfico representativo da evolução da massa da Cav.1 durante a recolha 24 horas do molde M972.

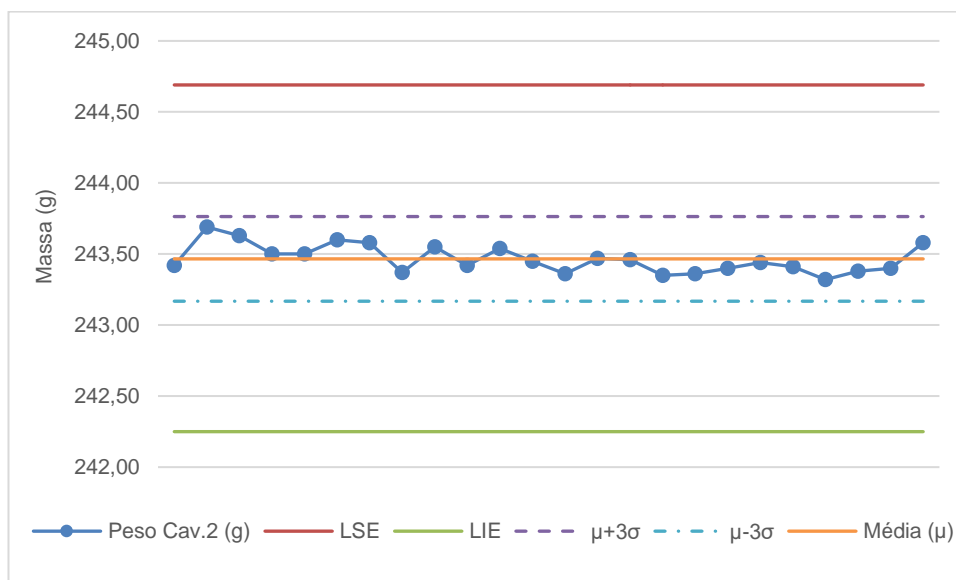


Figura 4.14. Gráfico representativo da evolução da massa da Cav. 2 durante a recolha 24 horas do molde M972.

Como é possível verificar pela observação dos gráficos das Figuras 4.13 e 4.14, tanto as massas da Cav.1 como da Cav.2 encontram-se dentro dos limites definidos (1 %). No entanto, também é possível verificar que a amplitude de tolerância da massa é grande, dando uma amplitude de 2,44 g de variação na massa. Com o intuito de perceber se este limite é apropriado para esta peça, realizou-se um teste de capacidade de modo a obter o Cpk relativo a esta tolerância da massa em relação à média dos valores, para cada uma das cavidades. Calculou-se o Cpk, com base na Equação 2.15, tendo-se obtido $Cpk = 4,73$ para a Cav. 1, e de $Cpk = 4,08$ para a Cav.2, valores muito superiores a 1,33, o que indica que o processo é capaz, no entanto, os limites de tolerância são exageradamente grandes. Com estas tolerâncias seria preciso existir

uma grande variação de massa para alertar da ocorrência de uma variação, ou seja, seria necessária uma grande variação do processo. Quanto menor for a tolerância, mais apertado vai ser o controle do processo através da massa dos produtos, pois mais facilmente a massa sai fora dos LSE ou LIE.

Com base em testes de capacidade, definiu-se que a tolerância para a Cav.1 e para a Cav.2 seria de 243 g a 244 g, valores que originavam um Cpk de 1,84 e 1,56, para as Cav.1 e 2 respectivamente. Valores estes que detetam mais facilmente as variações de massa, garantindo que o processo está capaz, e que pode ser verificado pela observação das Figuras 4.15 e 4.16.

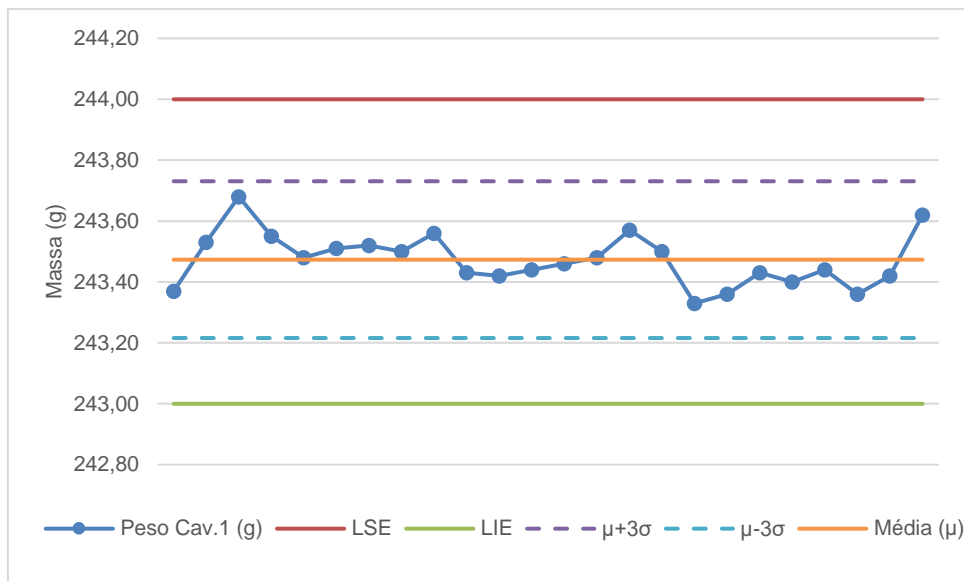


Figura 4.15. Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.1 do molde M972 com os limites definidos após o estudo de capacidade.

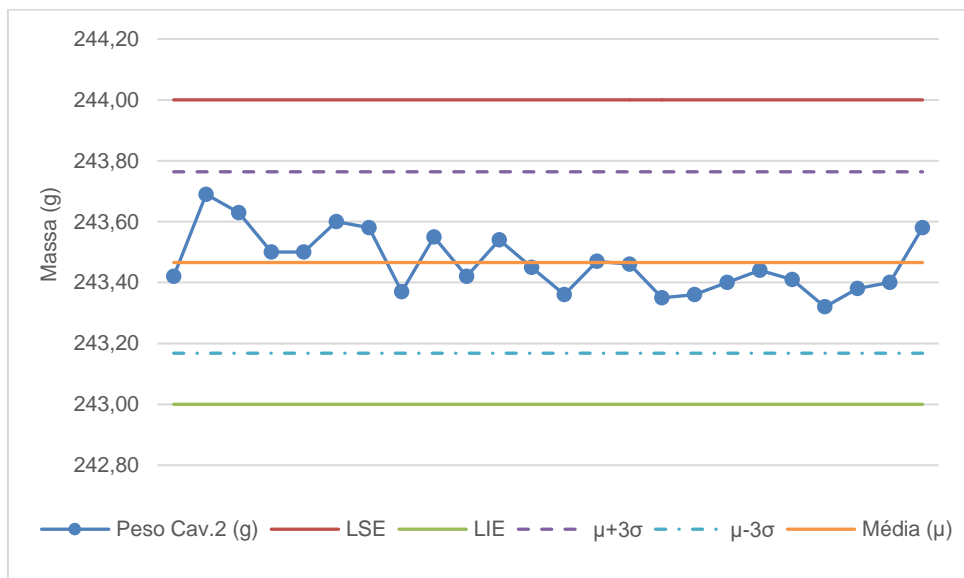


Figura 4.16. Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.2 do molde M972 com os limites definidos após o estudo de capacidade.

4.2.4. Validação da Otimização

De forma a validar a implementação do autocontrolo nos moldes M649, M820 e M972, procedeu a uma avaliação das três produções seguintes de cada molde. Para isso o operador pesou uma peça de duas em duas horas durante toda a produção, procedendo ao registo dos valores obtidos numa folha de registo do autocontrolo.

Relativamente ao molde M649, após lhe ser implementado o autocontrolo, as três primeiras produções seguintes decorreram entre os dias 2 e 6 de dezembro de 2021 (1º produção), 22 e 23 de dezembro de 2021 (2º produção) e entre 3 e 6 de janeiro de 2022 (3º produção). Os dados relativos às pesagens das peças injetadas por este molde, foram sistematizadas no gráfico representado na Figura 4.17.

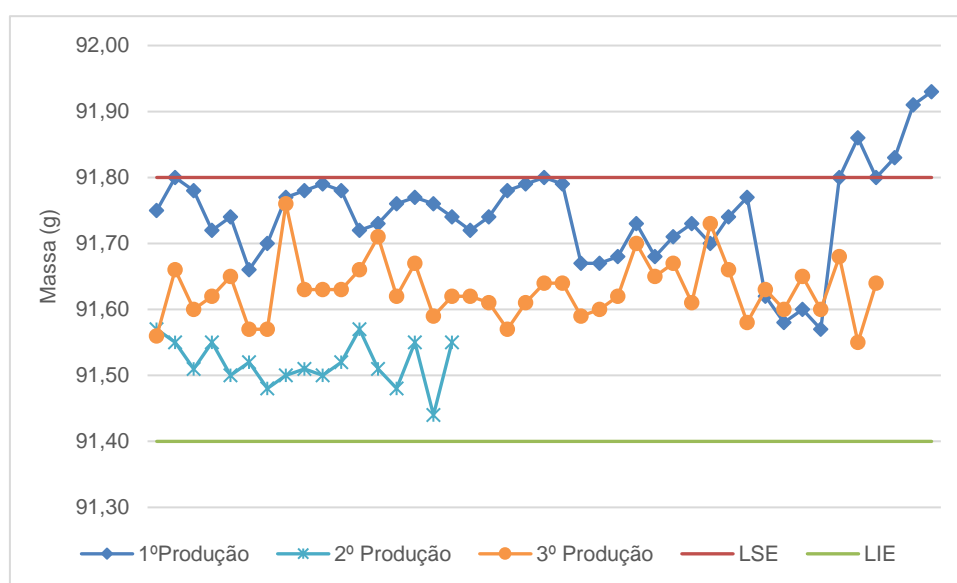


Figura 4.17. Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M649 ao longo de três produções.

Durante a 1º produção a massa das peças encontrava-se muito próximo do LSE, e 68 horas a partir do início da produção, verificou-se uma queda abrupta da massa das peças, o qual, apesar de não ter saído fora de especificação, alertou o operador de que tinha ocorrido uma alteração no processo, verificado pelo aparecimento de zonas chupadas na peça. Estes chupados nas peças justificavam a diminuição da massa das mesmas, pois em zonas da peça que era preenchida por material, tinha falta deste. O operador chamou o chefe de turno, que após análise do processo de injeção e das peças não conforme, decidiu, como método de contenção, aumentar a 2º pressão, para que a máquina exerça mais pressão na fase final da injeção da peça, e com isto que ajuste a matéria prima no fuso ao molde de modo a este ficar preenchido na sua totalidade, e as peças conforme os critérios visuais. Este passo de resolução do problema é possível de ser verificado na Figura F6 dos Anexos, no aumento repentino da massa da peça nas últimas 10 h da 1º produção. Após terminada a produção procedeu-se à análise da causa raiz do aparecimento desse defeito, e detetou-se que o bico de injeção estava

a expelir material para fora do molde, por este não ser apropriado ao molde que estava a ser utilizado, e por isso havia perda de matéria prima durante o percurso do fuso para o molde, tendo levado ao aparecimento das peças chupadas e da conseqüente diminuição da sua massa. Foi colocado um bico apropriado ao molde M649 no fuso de injeção, e iniciada a 2º produção deste molde, a qual decorreu sem problemas e sem defeitos visuais nas peças, assim como a 3º produção. A conformidade destas produções é comprovada pelos gráficos respetivos a estas produções (Figura F7 e F8 dos Anexos), nos quais se verifica que a massa das peças se manteve dentro das tolerâncias definidas durante todo o processo de injeção.

As produções do molde M820 decorreram de 11 a 19 de março (1º Produção), de 20 a 25 de março a 2º produção, e de 10 a 14 de abril a 3º produção. Com os dados obtidos pelas pesagens efetuadas de duas em duas horas durante cada uma destas três produções, sistematizou-se no gráfico 4.18.

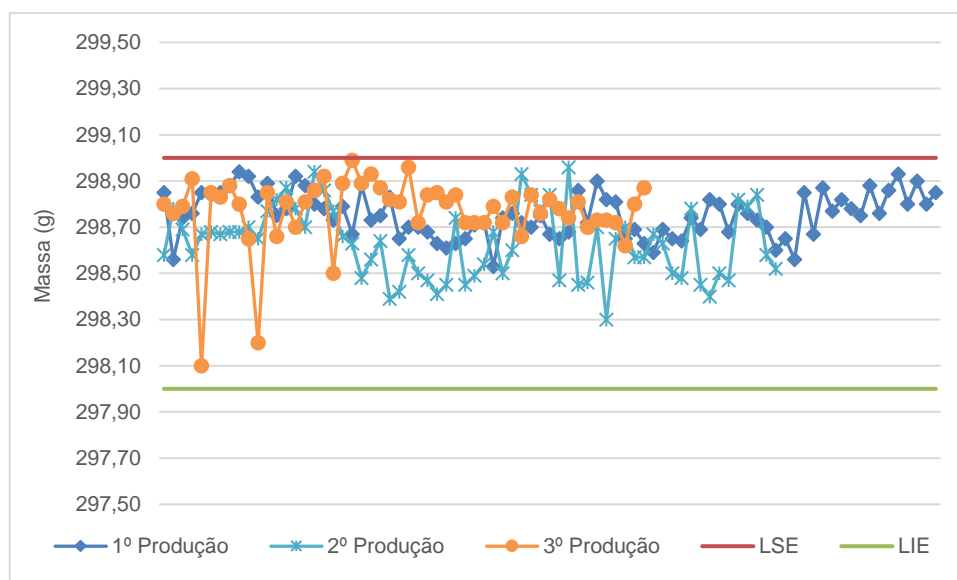


Figura 4.18. Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M820 ao longo de 3 produções.

Como é possível observar pela análise deste gráfico, durante as três produções, todas as peças se mantiveram dentro das especificações da massa, o que nos permite assumir que o autocontrolo foi implementado com sucesso no molde M820. Esta análise pode ser observada com maior clareza nas Figuras F9, F10 e F11 dos Anexos, referentes, à 1º, 2º e 3º produção, respetivamente.

Por último, as três produções seguintes à otimização do autocontrolo do molde M972 foram: 1º produção de 26 a 28 de abril, 2º produção de 16 a 21 de maio e a 3º produção de 23 a 29 de maio. Com os dados obtidos pelas pesagens efetuadas de duas em duas horas durante cada uma destas três produções, sistematizou-se no gráfico 4.19 e 4.20, referentes à Cav.1 e Cav.2, respetivamente.

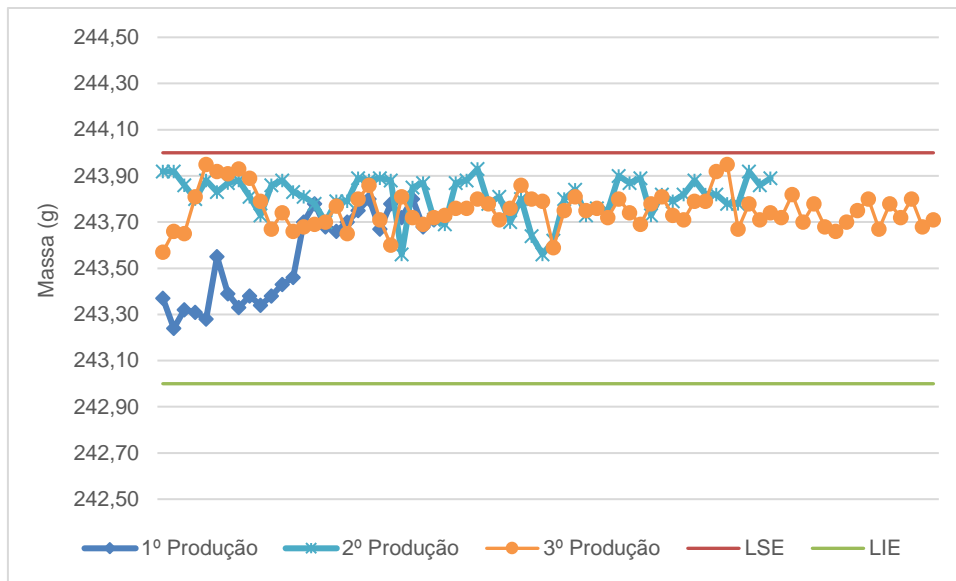


Figura 4.19. Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.1 do molde M972 ao longo de 3 produções.

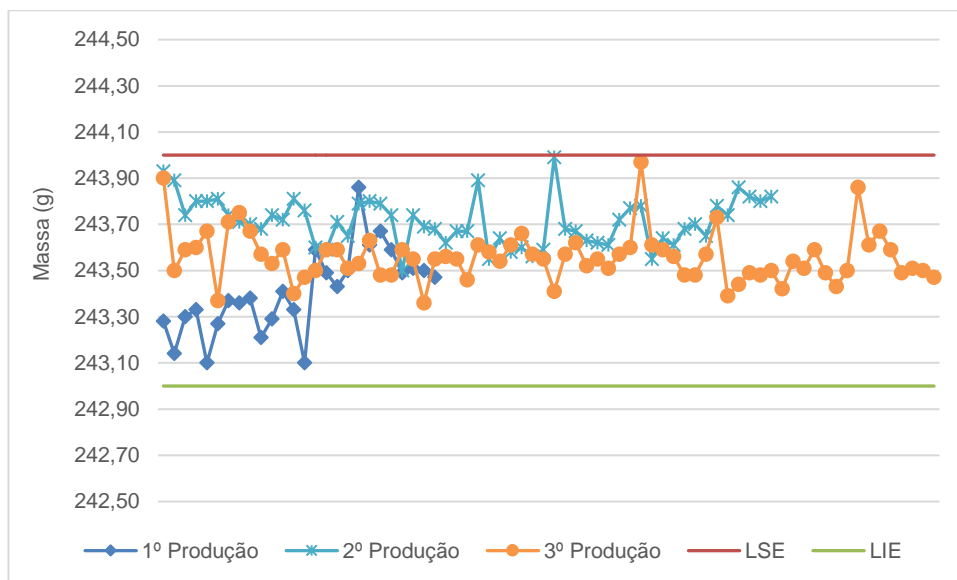


Figura 4.20. Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.2 do molde M972 ao longo de 3 produções.

Como é possível verificar pela observação da Figura 4.19, todas as peças injetadas na Cav.1, mantiveram-se dentro dos limites de especificação durante as três produções estudadas. Esta análise pode ser analisada com maior nitidez nas Figuras F12, F13 e F14 dos Anexos. Com a análise do gráfico da Figura 4.20, conseguimos averiguar que as massas das peças injetadas pelas Cav.2 se mantiveram dentro dos limites de especificação, podendo por isso concluir que o autocontrole foi otimizado com eficácia. Assim como na Cav.1, os resultados das massas da Cav.2 podem ver observados na Figura F15, F16 e F17 dos Anexos.

4.3. Auditorias de Kamishibai

Durante as 9 semanas de auditorias de Kamishibai, procedeu-se à análise de vários pontos, como: o número de não conformidades por questão (Figura 4.21), a evolução do número de não conformidades (NC) em relação ao número de auditorias, por semana (Figura 4.22), e a evolução semanal da percentagem das NC por semana (Figura 4.23). Após recolhidos os dados relativos a todas as auditorias, e registadas num documento excel, procedeu-se à criação dos gráficos representados nas Figuras 4.21, 4.22 e 4.23 e à sua análise.

Como é possível observar pelo gráfico da Figura 4.21, e sabendo da categorização das questões listadas na Tabela S3 dos Anexos.:

- Da questão 1 à 3: relativas às matérias primas;
- Da questão 4i à 4viii: relativa aos parâmetros do processo de injeção;
- Da questão 5 à 7: relativa aos métodos de controlo de qualidade e limpeza do processo;
- A questão 8: remete ao conhecimento e desempenho do operador.

Podemos observar que a maioria das NC advém de problemas nas matérias primas, tendo estas sido responsáveis por 15 NC das 32 totais detetadas ao longo das auditorias, correspondendo a aproximadamente 46,9 %. Sendo ainda possível afirmar que o principal problema era a falta de registo no processo de preparação da matéria prima, e que impedia determinar se o tempo de desumidificação da matéria prima era a estipulada. As questões com mais NC, a seguir à questão 3, foram as questões 6 e 7, correspondendo à falta de registo de limpeza do molde e as pesagens de autocontrolo terem saído fora de especificação, respetivamente. Também é possível verificar que os parâmetros relativos à temperatura do molde, temperatura dos canais quentes, temperatura do cilindro da máquina e a 2ª pressão, são os que não apresentaram NC durante as auditorias. Com estes resultados conseguimos perceber qual é a NC mais recorrente, podendo com esta informação tomar medidas corretivas que incidam sobre estes, evitando assim a reincidências desses problemas.

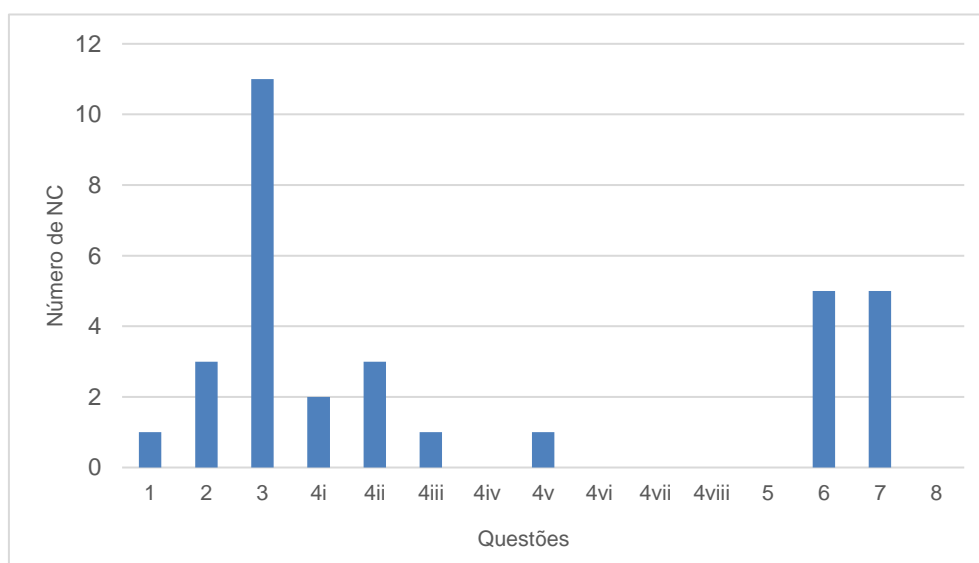


Figura 4.21. Gráfico representativo do número de não conformidades por questão.

Ao analisar o gráfico representado na Figura 4.22, conseguimos observar que na primeira semana de realização das auditorias, que as NC encontradas foram superiores às auditorias efetuadas nessa mesma semana, o que significa, que numa mesma máquina existiu mais do que 1 NC. Por outro lado, isso não se repetiu, tendo sido daí para a frente, o número de NC sempre igual ou inferior ao nº de auditorias. A grande melhoria observada no gráfico surge a partir da semana 20, na qual não foi surgido nenhuma NC durante as auditorias, e nas duas últimas semanas apenas surgiram 4 NC (2 em cada semana).

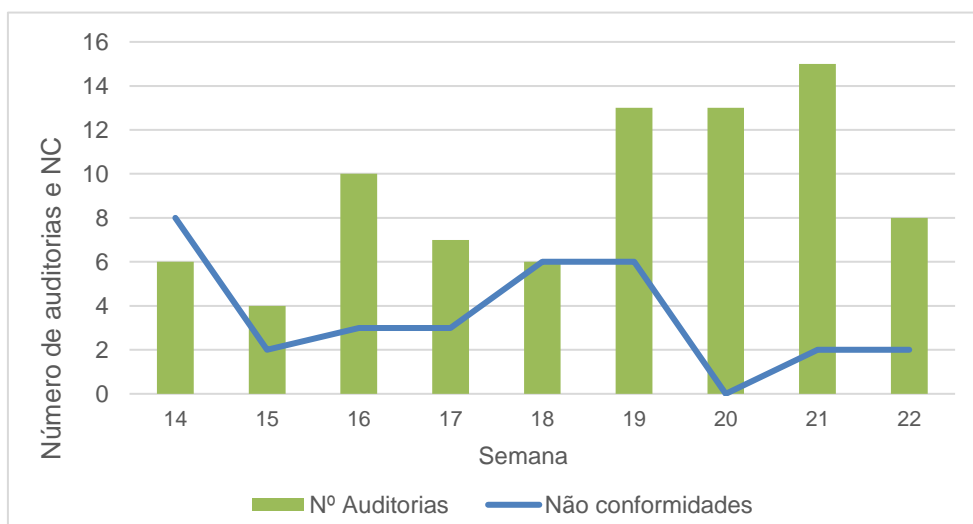


Figura 4.22. Gráfico representativo da evolução do número de não conformidades (NC) em relação ao número de auditorias, por semana.

Uma melhor forma de observar estes resultados é através do gráfico da Figura 4.23, que representa a mesma evolução, mas em percentagem de NC por auditorias, e que nos dá uma melhor noção da realidade.

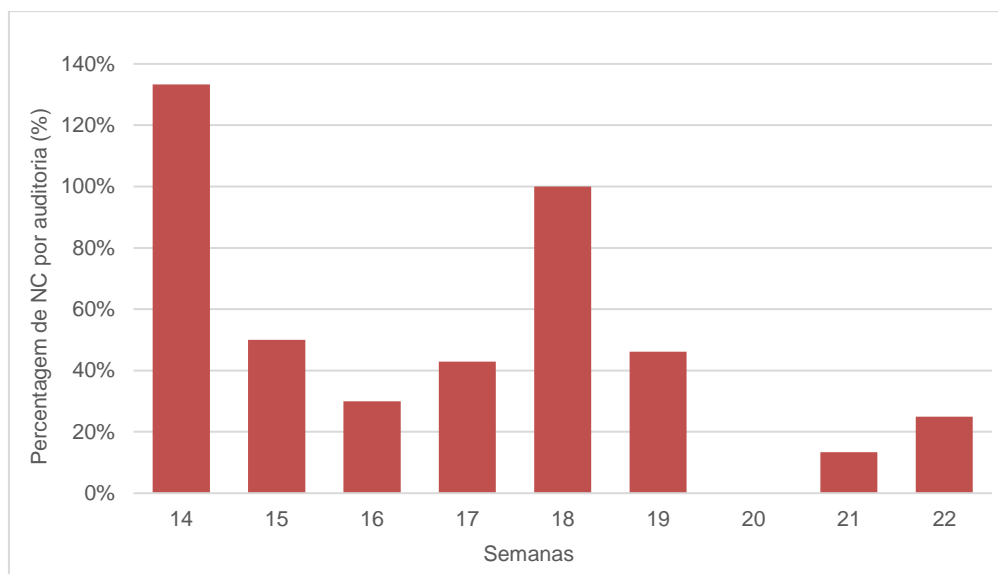


Figura 4.23. Gráfico representativo da evolução semanal da percentagem das NC por semana.

Com a deste gráfico podemos verificar que a melhoria não ocorreu a partir da semana 20, como era sugerida por uma primeira análise do gráfico da Figura 4.22, mas sim a partir da semana 19, pois a quantidade de NC em relação ao número de auditorias feitas foi muito menor quando comparado à semana 18 (diminuição de 100 % para 46 %). É ainda possível calcular que ao longo das 9 semanas houve uma diminuição da percentagem de NC de 133 % para uma média de 12,7 %, obtida nas últimas 3 semanas de auditorias, o que corresponde a uma diminuição de, aproximadamente, 91 % (90,5 %).

5. Conclusão

Com a realização deste projeto foi possível desenvolver e implementar diferentes metodologias e métodos de análise estatística, na melhoria contínua dos processos de injeção e de todas as atividades envolvendo os mesmos.

Através da análise multivariada foi possível determinar que a massa das peças injetadas era afetada pelo tempo de injeção, e principalmente quando este diminui. Já a dimensão da peça aumenta com o aumento do tempo de ciclo e do tempo de injeção. Estas conclusões espoletam estudos futuros da relação entre a dependência comum, existente entre a massa a dimensão das peças com a variação no tempo de injeção.

Com os resultados obtidos nas três produções após a otimização do autocontrole da massa das peças injetadas foi possível concluir que a implementação dessa metodologia de controle dos processos realizava eficazmente a função que se lhe pretendia, a de permitir um controle em tempo real dos processos de injeção, tendo sido implementada com sucesso.

Relativamente às auditorias de Kamishibai como método de monitorização dos processos, conclui-se que estas não só serviram eficazmente para detetar e resolver problemas de forma rápida e simples, como também para reforçar o cuidado de todos os envolvidos nos processos de injeção, desde o operador até ao chefe de injeção, na garantia de que estes decorriam de forma mais rigorosa e sem erros manuseio. Ao saberem que o seu trabalho poderia ser auditado semanalmente e até mais do que uma vez na mesma semana, fez com que todos os envolvidos se preocupassem ainda mais com o estado dos processos, tendo-se verificado uma melhoria de aproximadamente 91 % em apenas 9 semanas.

Como principal conclusão considera-se que as metodologias de melhoria contínua foram implementadas com sucesso, e que a sua continuação no chão de fábrica e nos seus processos, que irá permitir obter grandes melhorias nos processos de injeção, tanto na diminuição dos custos na produção de peças defeituosas, como na deteção de problemas na sua fase inicial, e na qual são mais facilmente resolvidos sem que estes agravem até um ponto irrecuperável.

A nível pessoal, considero que o Projeto Industrial desenvolvido foi bastante enriquecedor, permitindo-me não só, pôr em ação conhecimentos teóricos de metodologias de melhoria contínua, como também adquirir conhecimento sobre esta área de injeção que tanto tem para oferecer ao mundo.

Bibliografia

- (1) Vošta, M.; Kocourek, A. Competitiveness of the European Automobile Industry in the Global Context. 2016, 13 (1), 69–86. <https://doi.org/10.1515/pce-2016-0023>.
- (2) Fonseca, L.; Fernandes, J.; Ramos, S. Enabling Factors for the Competitiveness of the Portuguese Automotive Industry. 2014, 1–12. <https://doi.org/10.2478/picbe-2019-0002>.
- (3) L. J. Koppens. Injection Molding. 233–235. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034720-2.50067-8>.
- (4) International Trade Administration. 2021. Automotive and Automotive Parts. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/portugal-automotive-and-automotive-parts>. [Consultado a 30/11/2021].
- (5) Cunha, A.M. 2004. “Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plásticos Vol2. – Moldação por injeção e materiais plásticos”, Edições Centimfe. Marinha Grande, Portugal.
- (6) Gohn, A. M.; Brown, D.; Mendis, G.; Forster, S.; Rudd, N.; Giles, M. Mold Inserts for Injection Molding Prototype Applications Fabricated via Material Extrusion Additive Manufacturing. *Addit. Manuf.* 2022, 51, 102595. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102595>.
- (7) Fu, J.; Liu, J.; Quan, L.; Ma, Y. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Partial Solidification Ejection Criteria for Injection Molding Production to Reduce Cycle Time. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 2022, 74, 102263. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102263>.
- (8) Scholar, M. T.; Koli, M. Cycle Time Optimization in Injection Moulding. 2021, No. May 2019, 2–5.
- (9) Rosato, D.; Rosato, D.; Rosato, M. Compression molding. *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. 2004, 14.
- (10) Percec, V.; Xiao, Q. Legacy The Legacy of Hermann Staudinger: Covalently Linked Macromolecules. *CHEMPR* 1953, 6 (11), 2855–2861. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.10.007>.
- (11) Gad, S. E.; Services, G. C. Polymer Classes. 2014, 3, 1045–1050. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00912-X>.
- (12) Europe, W.; America, N. Polymeric Materials; 2018, 5, 373-483. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1255-0_5
- (13) Spinacé, M. A. S.; Paoli, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. 2005, 28, 65–72.
- (14) Stewart, R. Thermoplastic Composites – Recyclable. *Reinf. Plast.* 2014, 55, 22–28. [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(11\)70073-X](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(11)70073-X).
- (15) Jogur, G.; Khan, A. N.; Das, A.; Mahajan, P. Impact Properties of Thermoplastic Composites. 2019, 50 (3), 109–183. <https://doi.org/10.1080/00405167.2018.1563369>.

- (16) Maria, E.; Sanchez, S. Ageing of PC / PBT Blend: Mechanical Properties and Recycling Possibility. 2007, 26, 378–387. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.12.007>.
- (17) Lieser, G.; Reimann, H.; Wegner, G.; Chemic, P.; Mainz, U.; Mainz, D.-; Germany, W. Synthesis and Properties of Completely Crystalline POM Copolymers. 1975, 16, 497–500.
- (18) MUZZY, J. D. Thermoplastics–properties. *Comprehensive composite materials*, 2000, 57-76.
- (19) Peters, S. T. Handbook of Composites. 1998. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6389-1>.
- (20) Turku, I. Characterization of Feedstock Filament Extruded from Secondary Sources Of. 2018, No. October. <https://doi.org/10.3390/recycling3040057>.
- (21) Martin, J.; Elg, M.; Gremyr, I. The Many Meanings of Quality: Towards a Definition in Support of Sustainable Operations. 2020. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1844564>
- (22) Hamid, S. R.; Isa, S.; Chew, B. C.; Altun, A. Quality Management Evolution from the Past to Present: Challenges for Tomorrow. 2019, 52 (3), 157–186. <https://doi.org/10.2478/orga-2019-0011>.
- (23) Dahlgaard, J. J.; Reyes, L.; Chen, C.; Dahlgaard-park, S. M.; Dahlgaard, J. J.; Reyes, L.; Chen, C.; Dahlgaard-, S. M. Total Quality Management & Business Excellence Evolution and Future of Total Quality Management: Management Control and Organisational Learning. *Total Qual. Manag.* 2019, 1–16. <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1665776>.
- (24) Westgard, J. O.; Barry, P. L.; Ascp, M. T. Total Quality Control: Evolution of Quality Management Systems. 1989, 377–384.
- (25) Knop, K. Challenges faced in modern quality inspection. 2016, 7, 11–22. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0022>.
- (26) Jilcha, K.; Beshah, B.; Kitaw, D. The Plan-Do-Check-Act Cycle of Value Addition Industrial Engineering & Management The Plan-Do-Check-Act Cycle of Value Addition. 2014, No. November. <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000124>.
- (27) Balagué, N; Saarti, J. Managing Your Library and its Quality. 2011, 47–60. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-654-8.50005-1>.
- (28) Deshpande, V. A. Application Of Plan-Do-Check-Act Cycle For Quality And Productivity Improvement - A Review. 2017, No. July.
- (29) Care, E. C. L. The problem-solving process: Curriculum Resource Material. 2007
- (30) Barberá, L.; Crespo, A.; Viveros, P.; Nikulin, C. Methodological Proposal for Problem Resolution in Industrial Activities Based on Failure Mode Analysis. Case Applied in the Cellulose Industry, Chile. 2012. <https://doi.org/10.3182/20121122-2-ES-4026.00004>.

- (31) Card, A. J. The Problem with '5 Whys'. 2016. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2016-005849>.
- (32) Banica, C. F.; Belu, N. Application of 8d Methodology - an Effective Problem Solving Tool in Automotive Industry. 2020. <https://doi.org/10.26825/bup.ar.2019.005>.
- (33) Kumar, T. S. M.; Adaveesh, B. Application of "8D Methodology" for the Root Cause Analysis and Reduction of Valve Spring Rejection in a Valve Spring Manufacturing Company: A Case Study. 2017, 1–11. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i11/106137>.
- (34) Herbert, G. The Five Whys Technique. 2017, 307–310. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0983-9>.
- (35) Barbosa, T.; Alves, M. Análise Da Causa Raiz: Utilização Do Diagrama de Ishikawa e Método Dos 5 Porquês Para Identificação Das Causas Da Baixa Produtividade Em Uma Cacaicultura Root Cause Analysis : U Sing the Ishikawa Diagram and the 5 Why Method to Identify the Causes of Low Productivity in Cacao Production. 2018, 1–11.
- (36) Reports, C.; Wong, K. C. Using an Ishikawa Diagram as a Tool to Assist Memory and Retrieval of Relevant Medical Cases from the Medical Literature. *J. Med. Case Rep.* 2011, 5, 120. <https://doi.org/10.1186/1752-1947-5-120>.
- (37) Coccia, M.; National, I. The Fishbone Diagram to Identify, Systematize and Analyze the Sources of General Purpose Technologies. 2018. <https://doi.org/10.1453/jsas.v4i4.1518>.
- (38) Fortuin, L. Performance Indicators-Why, Where and How? 1988, 34, 1–9.
- (39) Joppen, R.; Enzberg, S. Von; Gundlach, J.; Design, C.; Stief, P.; Dantan, J.; Etienne, A.; Siadat, A. ScienceDirect ScienceDirect A New of Existing Products for an Assembly Oriented Product Family Identification Robert to, Jan Physical Gundlach, Architecture Methodology Analyze the Functional Key Performance Indicators in the Production of the Future Key Performance Indicators in the of the Future May Production. *Procedia CIRP* 2019, 81, 759–764. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.190>.
- (40) Ojha, S.; Pal, B. K. OEE as an Indicator for Performance Measurement in Coal Handling Plant. 2021.
- (41) Engineering, P.; 2013, 51, 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.082>.
- (42) Gestão, P.; Fgv, D. P. Análise Do Indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) Em Um Setor de Envase Da Indústria de Alimentos Analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) Indicator in a Food Industry Filling Sector. 2021, 20–38. <https://doi.org/10.34115/basrv5n1-003>.
- (43) Matias, C.; Ikuo, D. Análise Da Aplicação de Indicadores Alternativos Ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) Na Gestão Do Desempenho Global de Uma Fábrica. 2013, 1999, 205–225.

- (44) Basu, S. The Toyota Way by Jeffrey K Liker. Medical Journal, Armed Forces India. 2007, 63, 305. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80170-5](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80170-5).
- (45) Paulo, L.; Santos, G.; Matos, Otimização de um SGQ-Autocontrolo, Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso.
- (46) ISO/TR 18532. *Guidance on the application of statistical methods to quality and to industrial standardization*. 2009.
- (47) Stoica, P.; Selen, Y. "Model-order selection: a review of information criterion rules", IEEE Signal Processing Magazine. 2004, 36–47, doi:10.1109/MSP.2004.1311138.
- (48) J. K. Ghosh, M. Delampady, and T. Samanta, An Introduction to Bayesian Analysis: Theory and Methods. Springer-Verlag, New York, 2006.
- (49) Vrieze, S. I. NIH. 2013, 17, 228–243. <https://doi.org/10.1037/a0027127>.Model.
- (50) Lee, M. D.; Criss, A. H.; Devezer, B.; Donkin, C.; Etz, A.; Leite, P.; Matzke, D.; Rouder, J. N.; Trueblood, J. S.; White, C. N.; Vandekerckhove, J. Robust Modeling in Cognitive Science. 2019, 141–153.
- (51) Coutinho, T. *Aprenda o que é e como analisar a Capabilidade do processo!*. 2020. <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/capabilidade-do-processo>. [Consultado a 2022-04-30].
- (52) PQ Systems. *Capability Analysis*. https://www.pqsystems.com/qualityadvisor/DataAnalysisTools/capability_analysis.php. [Consultado a 2022-04-30].
- (53) Prof, O.; Eduardo, C.; Furlani, A. Variabilidade espacial e diagnóstico da qualidade do processo em sementeira de Anderson de Toledo Anderson de Toledo. 2008.
- (54) Procedures, S. Military Standard. 1989.
- (55) Fernando, J.; Machado, A.; Carneiro, A. C.; Mendes, J. C.; Junior, V. L. Controle estatístico de processo. 1–62.
- (56) Lepore, A.; Palumbo, B.; Castagliola, P. Short Communication A Note on Decision Making Method for Product Acceptance Based on Process Capability Indices CPk and CPmk. Eur. J. Oper. Res. 2018, 267 (1), 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.032>.
- (57) Kumar, P.; Debele, S. E.; Sahani, J.; Rawat, N.; Marti-cardona, B.; Maria, S.; Basu, B.; Sarkar, A.; Bowyer, P.; Charizopoulos, N.; Jaakko, J.; Loupis, M.; Menenti, M.; Pulvirenti, B.; Mickovski, S. B.; Pfeiffer, J.; Pilla, F.; Pr, J.; Rutzinger, M.; Sannigrahi, S.; Spyrou, C.; Tuomenvirta, H.; Vojinovic, Z.; Zieher, T. Earth-Science Reviews An Overview of Monitoring Methods for Assessing the Performance of Nature-Based Solutions against Natural Hazards. 2021, 217 (October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103603>.
- (58) Knop, K.; Ulewicz, R. Analysis of the possibility of using the Kamishibai audit in the area of quality inspection process implementation. 3 (43). <https://doi.org/10.29119/1899-6116.2018.43.3>.

Anexos

Tabela S1: Listagem das peças e a sua percentagem no lucro da empresa.

Peças Injeção a controlar Autocontrolo	Ciente	%	ACM
PACBCMB92002 - SUPPORTING PLATE #922	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	11,5%	11%
PACBCMB92002 - SUPPORTING PLATE #922	Robert Bosch LLC	4,1%	16%
PACPREBMW016 CARRIER 10389-068/0009	Preh Portugal, Lda	5,1%	21%
PACCCSAC2001 - HOUSING #151026	Caetano Coatings, SA	5,1%	26%
PCUBCMSKM015 FACIA WITH ON/OFF KNOB #733	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	3,7%	29%
PCUBCMSKM008 FACIA #691	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	3,5%	33%
PCUBCMSKM005 COVER I/O ACCESS #303	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	3,4%	36%
PACBCMSKM009 - BACK PANEL #824	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	2,3%	39%
PCUBTTCP4002 FASCIA RAW WO DISPLAY WINDOW #973	Bosch Termotecnologia, SA	2,3%	41%
PACBCMCBV005 - DISPLAY CARRIER BASIC #397	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	2,0%	43%
PCUBCMSKM016 PANEL TIMER ACCESS #663	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	1,7%	45%
PACBCMCB2002 - REAR COVER ASSEMBLY #628	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	1,6%	46%
PCUBCMSKO001 FACIA CONTROL BOX HOUSING #454	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	1,5%	48%
PCURBCDML001 HOLDER BRACKET RIGHT LHD FRONT #937	Robert Bosch GmbH	1,5%	49%
PCUBCMLOW001 HOSING FRONT COVER #411	Bosch Thermotechnik GmbH	1,4%	51%
PACBCMSPA012 - BACK COVER #921	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	1,3%	52%
PACSCNBRK001 - SUPPORT BRACKET ASSY LH #854	Scania CV AB	1,3%	53%
PACBCMCA001 - BRACKET MODULE #423	Bosch Thermotechnik GmbH	1,2%	55%
PACRDLHJB013 - FACADE 3 BOUTONS COM - 4625742	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	1,1%	56%
PACHLASRF001 - LENCE OUTER ECE LH 249.919-01	Hella GmbH & Co. KGaA	1,1%	57%
PACHLASRF002 - LENCE OUTER ECE RH 249.919-02	Hella GmbH & Co. KGaA	1,1%	58%
PACHLASRF005 - BEZEL ECE LH 249.929-01	Hella GmbH & Co. KGaA	1,1%	59%
PACHLASRF006 - BEZEL ECE RH 249.929-02	Hella GmbH & Co. KGaA	1,1%	60%
PACRDLHJB032 - RENFORT CAMAN IMPACT	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	1,1%	61%
PACPREBMW007 - SLIDER EPB AT 05055-187/0001	Preh Portugal, Lda	1,0%	62%
PACRDLHJB017 - SUPPORT BOUTON CONDUCTEUR DAG	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	0,9%	63%
PACRBCDML006 - SUPPORT #826	Robert Bosch GmbH	0,8%	64%
PACRDLHJB005 - PALETTE VP PASSAGER DAG	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	0,8%	65%
PACBCMSPA010 - BACK COVER #919	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	0,8%	66%
PCUBCMSKO003 PANEL DRAWER FRONT #391	Bosch Security Systems - Sist. de Segurança, SA	0,7%	66%
PACBCMCA010 - COVER #421	Bosch Thermotechnik GmbH	0,6%	67%
PACBCMVIC001 - CENTRAL CARRIER ASSY #982	Bosch Car Multimedia Portugal, SA	0,6%	68%
PACVISHFE014 - AGRAFE HARPON - 4625300		0,6%	68%
PCUPTSTAG002 SEMI-PLACA INTERIOR	Porta Saber, Serviços Consultoria, Unipessoal, Lda	0,6%	69%
PACBTTFIL001 - FILTRO DE AGUA	Bosch Termotecnologia, SA	0,5%	69%
PACRDLHJB019 - SUPPORT BOUTON START DAG	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	0,5%	70%
PCUBCMCA004 COVER #421	Bosch Thermotechnik GmbH	0,5%	70%
PACRDLHJB015 - FACADE BOUTON CONDUCTEUR COM	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	0,5%	71%
PACPREBMW008 - FOOT PANEL GWS LHD BZM	Preh Portugal, Lda	0,5%	71%
PACRDLHJB003 - INSERT GACHE G VP PASSAGER DAG	SMRC Automotive Interiors Spain, SL	0,4%	72%

ANÁLISE 5 WHYS/5 PORQUÊS

Problema	Produto	Referência	Molde

Turno _____
Data _____

Figura F1: Diagrama da Técnica dos 5 Porquês.

Ações												
#	Data Abertura	Produto	Molde	Descrição do Problema	Máquina	Turno	Causa(s) Raiz	#	Corretiva (Corr) Contenção (Cont)	Responsável	Data Planeada de cada ação	Data Executada da última ação
39	21/10/2021	HOLDER BRACKET RIGHT LHD FRONT #937	M826	(OF211780) Setup Interno - Fora Objectivo	Eng 60	B	Falta de documentação técnica FAM / Programa Pasta qualidade no arquivo	1	Elaborar programa / fam - dossier técnico	T.A / T.B	21/10/2021	21/10/2021
								2	Criar pasta qualidade (gamas, embalagem) - disponibilizar no arquivo de produção	Giselle	22/10/2021	26/10/2021
40	25/10/2021	HOUSING CASCADE #038	M656-3	(OF211741) Peça incompleta no final da injeção	DEM 160-2 (600)	B	Perno de escape de fugas de gases entupido	1	Confirmar se existe perno de fuga de gases de escape?	Pedro Pereira	25/10/2021	29/10/2021
								2	Aquando manutenção limpar. Verificar se pode melhorar escape.	M. Moïdes		
41	25/10/2021	Kospetuk Ø48 Peça nº2 orelhas vermelho	M138	(OF211723) Setup Interno - Fora Objectivo	Eng 50/2	A	Falta de documentação técnica FAM / Programa Pasta qualidade no arquivo	1	Criar programa, Actualizar fam (Dossier técnico)	Rui H./ Carla	25/10/2021	26/10/2021
								2	Criar pasta qualidade (gamas, embalagem) - disponibilizar no arquivo de produção	Giselle	25/10/2021	26/10/2021
42	26/10/2021	LIGHT GUIDE 13566-426/0004	M907	(OF211725) Bolhas / Raiados / Pintas ?	Dem 50/2	A	Deficiente Homogeneização da MP	1	Baixar temperaturas cilindro vs c. quentes Aumento contrapressao (registo alteração de parametros)	Rui H.	26/10/2021	26/10/2021
								2				
43	27/10/2021	BEZEL ECE LH BEZEL ECE RH Ref# 929-01/02	M897-1	(OF211761) Peças Partidas	Eng 350/3	A	Prisões Perno "Canto da Peça"	1	Polimento Aliviar quina viva (aresta) da patilha (arredondar)	Rui H.	27/10/2021	27/10/2021
								2				
44	27/10/2021	BEZEL ECE LH BEZEL ECE RH Ref# 929-01/02	M897-1	(OF211761) Linha Brilho	Eng 350/3	A	1 - UI (L300) Almada instável (0mm) 2 - Ponto injeção partido (LH) (L120) (Corrigido na OF 212139)	1	1 - Ajustar parametros 1.1 - Checkar UI (Anilha, Cilindro, Temperaturas)	1 - Pedro P. / Rui 1.1 - M. Geral	1 - 27/11/21 1.1 - 23/11/21	23/11/2021
								2	Reparação	M. Moïdes	08/11/2021	14/12/2021

Figura F2: Base de dados da Equipa de Resolução de Problemas – Secção das Ações.

Validação da eficácia				
Comentários	% Início	% Fim	Data Validação	% Eficácia
Antes: Tempo Setup Def.= 30min Tempo Setup = 120 min. = desvio 90 min = (400%) Depois: Tempo Setup = 30 min. = desvio = 0min = 0%	400,0%	0,0%	26/10/2021	100,0%
100 peças c/ defeito assinalar no rearranque da OF	100,0%	0,0%	29/10/2021	100,0%
Antes: Tempo Setup = 300 min. Desvio = 270min = 900% Depois: Tempo Setup = 30 min. Desvio 0 min = 0%	900,0%	0,0%	26/10/2021	100,0%
Índice Rejeição T.C - 11% Índice Rejeição F. OF - 3328 peças produzidas / 47 defeito = 1,4%	11,0%	1,4%	26/10/2021	87,3%
27.10.21 - T.C - peças partidas = 3,3% 28.10.2021 - T.A - peças partidas = 0%	3,3%	0,0%	28/10/2021	100,0%
Índice Rejeição T.C = 37% (OF - 23,7%) 1.1 - Sensor Duvidoso - Troca sensor pressão (L600) VALIDAR OF 212139	37,0%	0,0%	03/01/2022	100,0%

Figura F3: Base de dados da Equipa de Resolução de Problemas – Secção da Validação da Eficácia.

Ind. Desempenho			
Nº dias até execução	Máximo de nº dias até execução	Status Point	WK
0	5	Fechado	43
5			
4	208	Fechado	43
208			
1	1	Fechado	43
1			
0	0	Fechado	43
0			
0	0	Fechado	43
0			
27	48	Fechado	1
48			

Figura F4: Base de dados da Equipa de Resolução de Problemas – Secção da Índice de desempenho.

Tabela S2: Base de dados dos valores das pesagens durante a recolha 24 do molde M820.

SUPPORTING PLATE #922			M820	298,66 ± 1,49	364,03 ± 0,6
Recolha das Amostras			Massa (g)	Dim. (mm)	
Hora	Data	Nr			
9	05/03/2022	1	298,66	364,52	
10	05/03/2022	2	298,73	364,460	
11	05/03/2022	3	298,54	364,58	
12	05/03/2022	4	298,52	364,57	
13	05/03/2022	5	298,50	364,56	
14	05/03/2022	6	298,49	364,53	
15	05/03/2022	7	298,56	364,43	
16	05/03/2022	8	298,55	364,4	
17	05/03/2022	9	298,63	364,49	
18	05/03/2022	10	298,47	364,49	
19	05/03/2022	11	298,55	364,51	
20	05/03/2022	12	298,73	364,48	
21	05/03/2022	13	298,65	364,52	
22	05/03/2022	14	298,65	364,5	
23	05/03/2022	15	298,73	364,55	
00	06/03/2022	16	298,72	364,58	
01	06/03/2022	17	298,58	364,62	
02	06/03/2022	18	298,64	364,6	
03	06/03/2022	19	298,59	364,58	
04	06/03/2022	20	298,52	364,58	
05	06/03/2022	21	298,57	364,59	
06	06/03/2022	22	298,74	364,63	
07	06/03/2022	23	298,69	364,57	
08	06/03/2022	24	298,53	364,48	
Média			298,61	364,53	
Min.			298,47	364,400	
Max.			298,74	364,630	
Delta			0,27	0,230	



GAMA DE CONTROLO									
					798 Revisão:				
Operação de Injeção Protótipo					Elaborado por: Giselle Pereira Aprovado por: Raquel Bregieiro				
Cliente: PREH Projecto: BMW Molde nº: 972-1 (Nº Preh 1 052 975) Nº Cav: 2									
Referência: CARRIER LLAT BZM 10389-068/0011 10389-068/0011					Nº Cav: 2 Refr/Index/Data: 10389-068/0011 / 27 / 26-11-2021				
Nº	Característica a Controlar	Especificação	CLASS	Método	Amostra	Frequência		Plano de Reação	
						Ch.Turno	Produção		
Set-Up									
Auto- Controlo									
4.2.2	Marcações da Peça	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H	Operador: - Após rejeitar várias peças NOK consecutivas (Matriz de Defeitos) para a máquina e informar Chefe de turno. - Rejeitar as peças NOK no contentor Vermelho. - Registrar peças NOK no GPAC Chefe de Turno: - Ajustar processo dentro de tolerâncias e voltar a validar o Controlador de qualidade; - Parar a máquina e informar Controlador de qualidade; - Parar a máquina e informar (chefe de turno); Reter a produção desde o último controle compatível e avaliar o produto Operador: - Após detecção de peças NOK,	
4.2.3	Tonalidade - Cor	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.4	Verificar se a peça está completamente	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.5	Ausência de rebarbas	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.6	Ausência de Partidos, fissuras, estalados	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.7	Ausência de Bolhas	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.8	Ausência de Chupados e linhas de fluxo	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.9	Ausência de contaminações	1ª Peça OK	---	Visual - Última peça aprovada do lote anterior	100% a)	Início de produção e cada rearranque	Início de produção e de 4H em 4H		
4.2.10	Verificação dos furos	1ª Peça OK Critério Visual Nº 798 Instrução de Trabalho nº8318	---	Base controlo M912	1 Tiragem	Por caixa b)	Início de Produção e de 4 em 4h		
4.2.11	Verificação da Referência do produto	1ª Peça OK Critério Visual Nº 798	---	Visual	1 Tiragem	---	Início de Produção		
4.2.12	Verificação de excesso/falta de material nas unhas de clipagem	1ª Peça OK Critério Visual Nº 798 Método de Medição nº 798	---	Visual	1 Tiragem	---	Início de produção e de 4H em 4H		
4.3.1	Peso de Autocontrolo	243 -244g	---	Balança BL-07	1 Tiragem	Início de produção	Início de 2 em 2 h		

Figura F5: Imagem exemplificativa de uma secção da Gama de Controlo, relativa ao molde M972.

Tabela S3: Listagem das questões colocadas no cartão das auditorias de Kamishibai.

n	Questões
1	A matéria prima corresponde com a informação descrita na FAM, OF e Plano de Controlo?
2	Temperatura de desumidificação está de acordo c/ a FAM?
3	Tempo de desumidificação está de acordo c/ a FAM?
4i	Almofada da massa (mm) está de acordo c/ a FAM?
4ii	Tempo de ciclo (s) está de acordo c/ a FAM?
4iii	Tempo de 2º Pressão (s) está de acordo c/ a FAM?
4iv	2º Pressão (bar) está de acordo c/ a FAM?
4v	Tempo de injeção (s) está de acordo c/ a FAM?
4vi	Temperaturas dos canais quentes (°C) está de acordo c/ a FAM?
4vii	Temperatura do cilindro da máquina (°C) está de acordo c/ a FAM?
4viii	Temperatura do molde (°C) está de acordo c/ a FAM?
5	* Controlo de Qualidade está ativo (da máquina e do robot)?
6	O registo de limpeza do molde é cumprido?
7	* A massa de Autocontrolo está dentro de especificação?
8	O operador conhece os requisitos do produto?

Tabela S4: Listagem e identificação das variáveis.

Identificação das Variáveis	
x01	Média dos tempos de ciclo (TC)
x02	Mínimo dos TC
x03	Máximo dos TC
x04	Desvio Padrão dos TC
x05	Percentil 0,025 dos TC
x06	Percentil 0,25 dos TC
x07	Percentil 0,50 dos TC
x08	Percentil 0,75 dos TC
x09	Percentil 0,975 dos TC
x10	Região interquartil [0.25-0.025] dos TC
x11	Região interquartil [0.50-0.25] dos TC
x12	Região interquartil [0.75-0.50] dos TC
x13	Região interquartil [0.975-0.75] dos TC
x14	Região interquartil [0.75-0.50] dos TC
x15	Média dos tempos de injeção (TI)
x16	Mínimo dos TI
x17	Máximo dos TI
x18	Desvio Padrão dos TI
x19	Percentil 0,025 dos TI
x20	Percentil 0,25 dos TI
x21	Percentil 0,50 dos TI
x22	Percentil 0,75 dos TI
x23	Percentil 0,975 dos TI
x24	Região interquartil [0.25-0.025] dos TI
x25	Região interquartil [0.50-0.25] dos TI
x26	Região interquartil [0.75-0.50] dos TI
x27	Região interquartil [0.975-0.75] dos TI
x28	Região interquartil [0.75-0.50] dos TI
x29	Média da almofada da massa (AM)
x30	Mínimo da AM
x31	Máximo da AM
x32	Desvio Padrão da AM
x33	Percentil 0,025 da AM
x34	Percentil 0,25 da AM
x35	Percentil 0,50 da AM
x36	Percentil 0,75 da AM
x37	Percentil 0,975 da AM
x38	Região interquartil [0.25-0.025] da AM
x39	Região interquartil [0.50-0.25] da AM
x40	Região interquartil [0.75-0.50] da AM
x41	Região interquartil [0.975-0.75] da AM
x42	Região interquartil [0.75-0.50] da AM
R01	Raíz quadrada do X01
R...	(...)
R42	Raíz quadrada do X42
Q01	Quadrado de X01
Q...	(...)
Q42	Quadrado de X42
Ix01	Inverso de X01
I...	(...)
Ix42	Inverso de X42
Y1	Massa das peças
Y2	Dimensão das peças

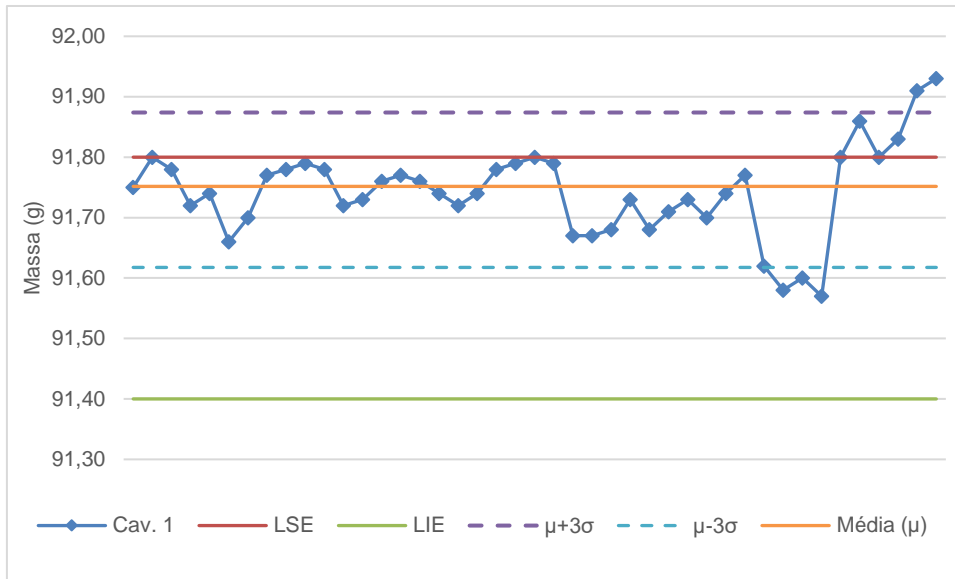


Figura F6: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M649 durante a 1ª produção após a implementação do Autocontrole.

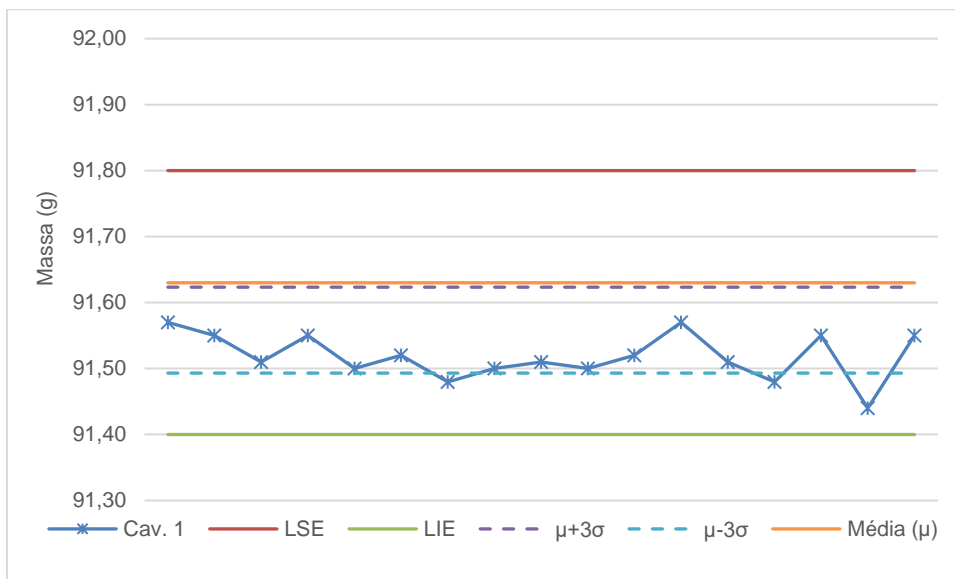


Figura F7: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M649 durante a 2ª produção após a implementação do Autocontrole.

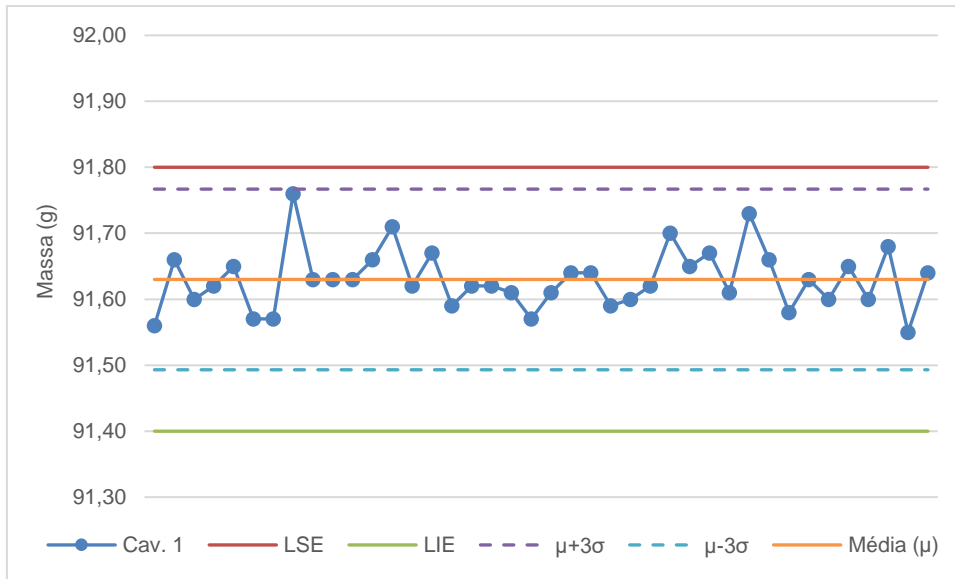


Figura F8: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M649 durante a 3ª produção após a implementação do Autocontrole.

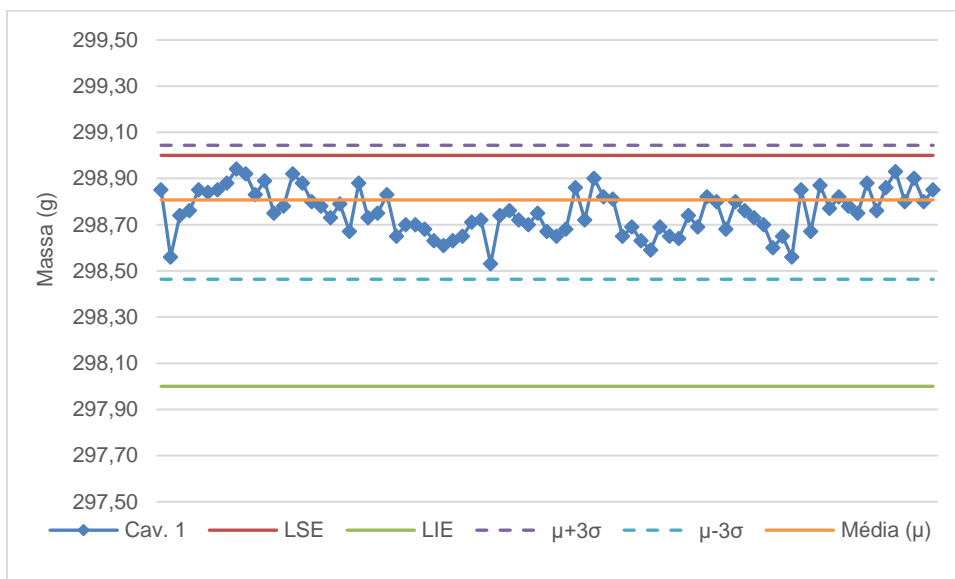


Figura F9: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M820 durante a 1ª produção após a implementação do Autocontrole.

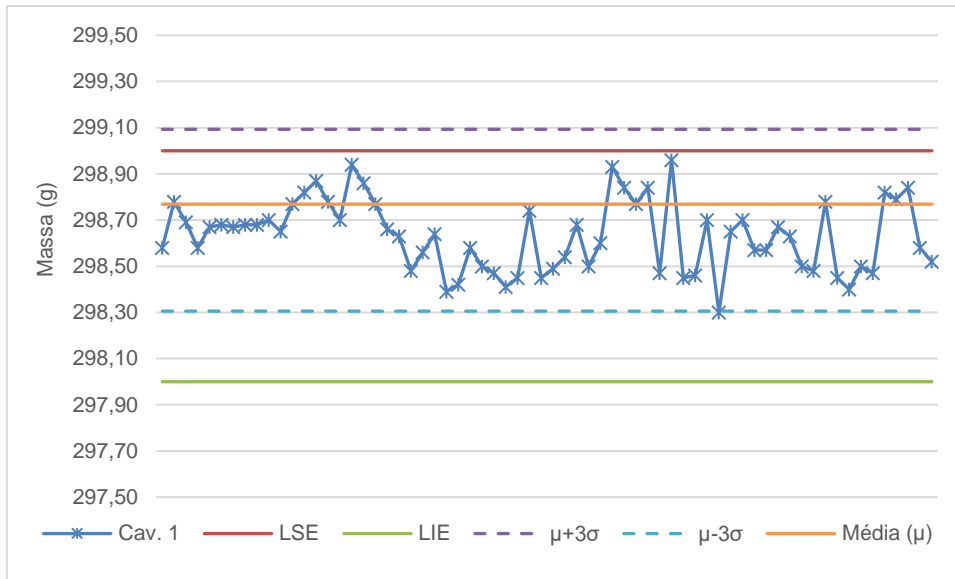


Figura F10: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M820 durante a 2ª produção após a implementação do Autocontrolo.

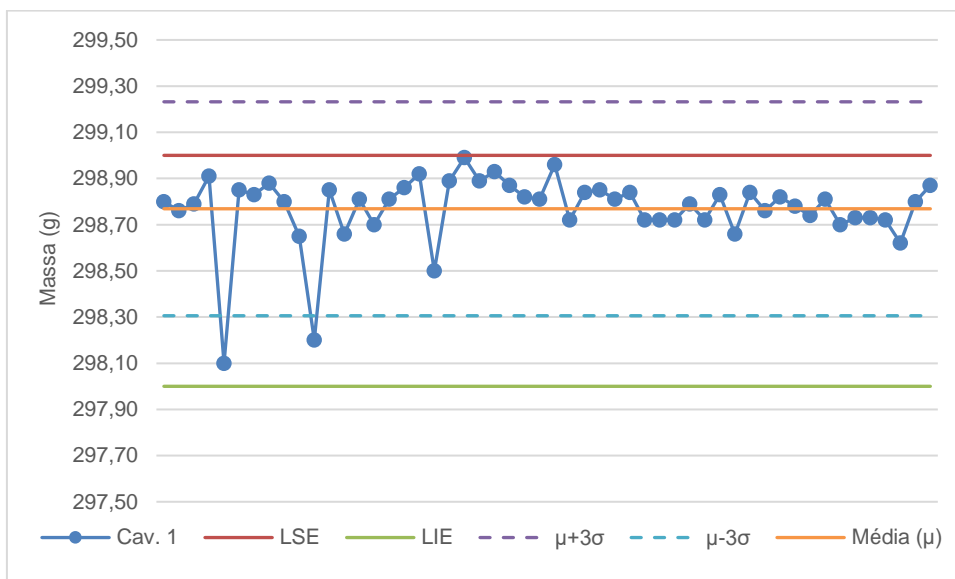


Figura F11: Gráfico representativo da evolução da massa das peças do molde M820 durante a 3ª produção após a implementação do Autocontrolo.

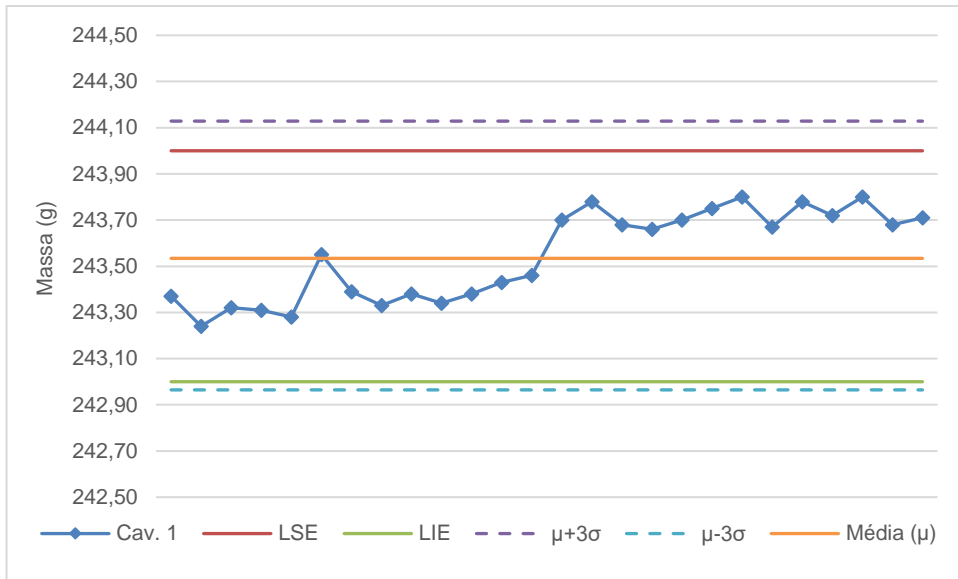


Figura F12: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.1 do molde M972 durante a 1º produção após a implementação do Autocontrole.

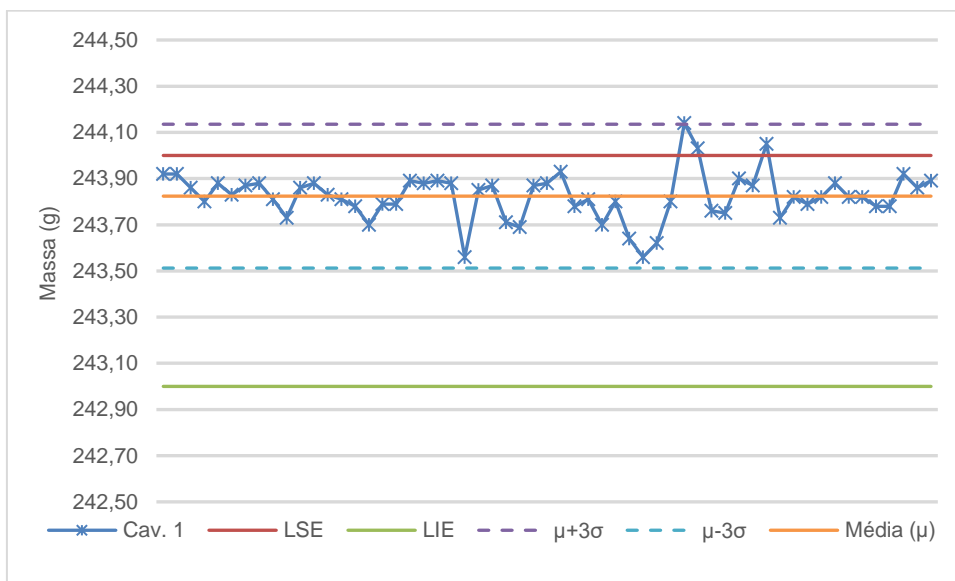


Figura F13: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.1 do molde M972 durante a 2º produção após a implementação do Autocontrole.

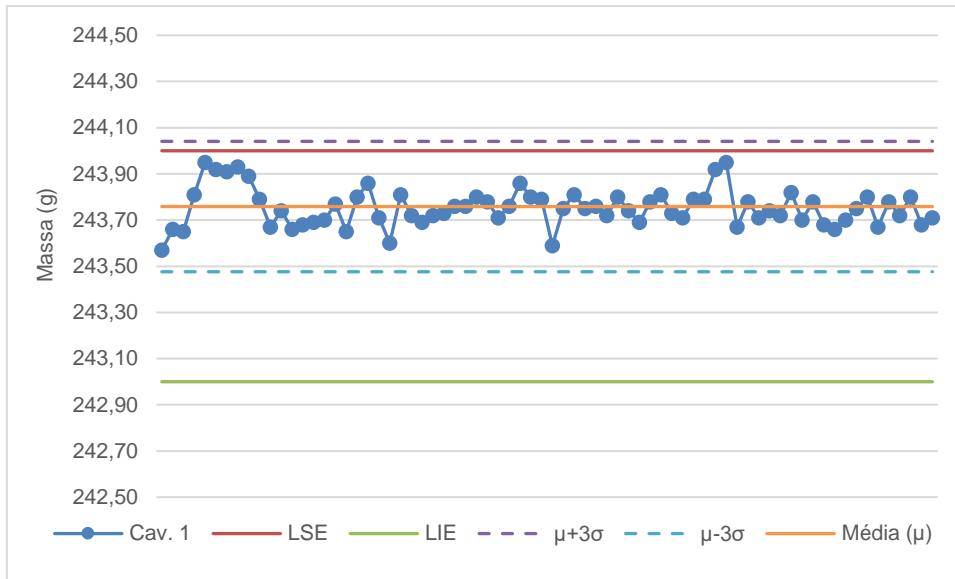


Figura F14: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.1 do molde M972 durante a 3ª produção após a implementação do Autocontrolo.

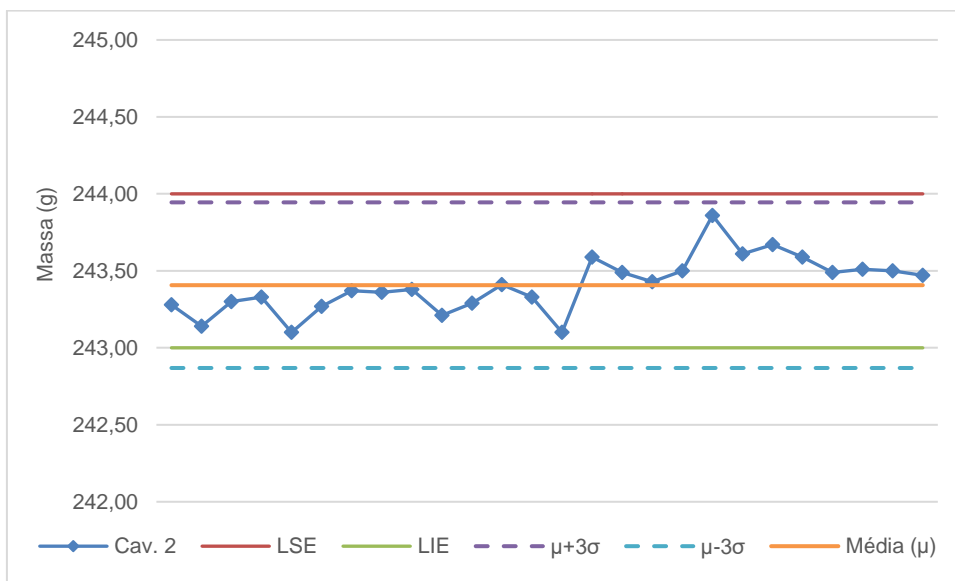


Figura F15: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.2 do molde M972 durante a 1ª produção após a implementação do Autocontrolo.

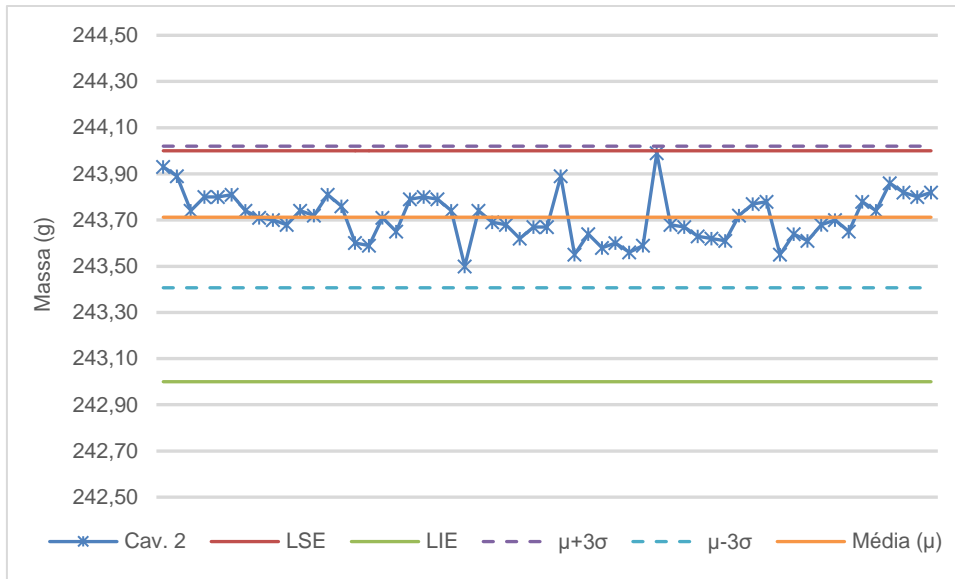


Figura F16: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.2 do molde M972 durante a 2ª produção após a implementação do Autocontrolo.

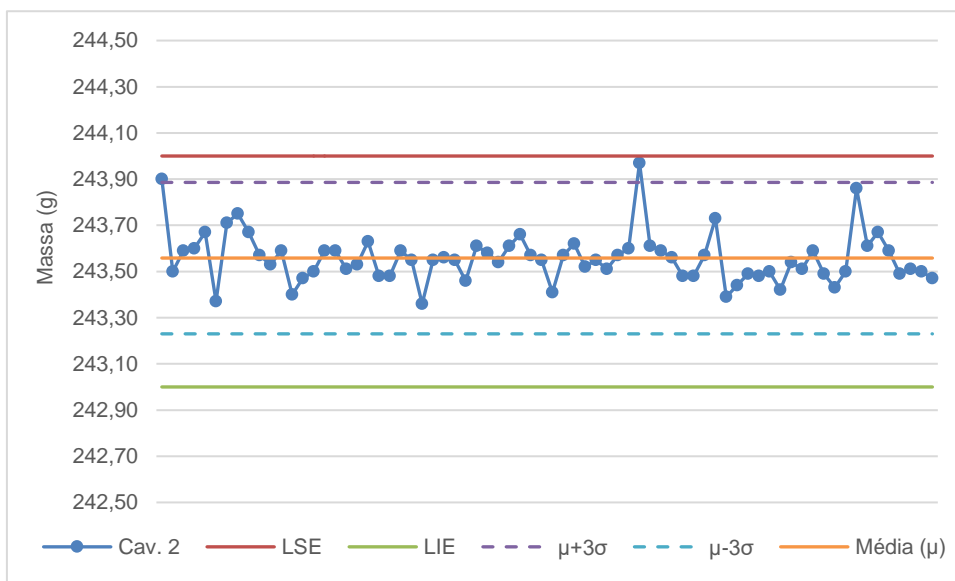


Figura F17: Gráfico representativo da evolução da massa das peças da Cav.2 do molde M972 durante a 3ª produção após a implementação do Autocontrolo.