



ESTG



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

2019 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NO CONTROLO DE
MÁQUINAS DE EMBALAMENTO

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NO CONTROLO DE MÁQUINAS DE EMBALAMENTO

Caso de estudo na empresa Lanhoso Torrefação de Cafés

Ana Rita Reis Costa



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Ana Rita Reis Costa

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NO
CONTROLO DE MÁQUINAS DE EMBALAMENTO
Caso de estudo na empresa Lanhoso Torrefação de Cafés

Mestrado em Engenharia Alimentar

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Manuel Rui Alves

e sob a coorientação da
Professora Doutora Carla Barbosa

novembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Rui Alves e Professora Doutora Carla Barbosa, pela disponibilidade, motivação e transmissão de conhecimentos ao longo do meu percurso académico.

À Lanhoso Torrefação de Cafés pela oportunidade para a realização do projeto e a todos os colaboradores pela disponibilidade e auxílio prestado durante o estágio.

À diretora da qualidade, Doutora Lara Gonçalves, pela integração, transmissão de conhecimentos, apoio e motivação.

Ao departamento da produção, principalmente Fátima e Cláudia, pela integração, boa disposição e por toda a ajuda na recolha de dados para que o projeto decorresse de acordo com o planeado.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram com a sua constante amizade e incentivo.

Ao Manuel, por toda a amizade, compreensão e apoio incondicional ao longo desta etapa.

À minha família, que sempre me apoiou. Aos meus pais e irmão atribuo o maior agradecimento, pelo carinho, pelos conselhos e incentivo ao longo de toda a minha vida.

A todos o meu sincero obrigada!

RESUMO

A qualidade no setor alimentar tem evoluído significativamente devido ao aumento das exigências por parte dos consumidores e consequentes alterações na legislação, ao desenvolvimento dos mercados e ao aumento da concorrência. A qualidade tem como função principal garantir a conformidade dos produtos com as respectivas especificações e, deste modo, implementar a melhoria dos processos da organização. Assim, torna-se necessário conhecer a capacidade fabril e identificar as potencialidades e possíveis melhorias do processo de fabrico. Existem muitas ferramentas que podem ser usadas para possíveis diagnósticos e melhorias, sendo o uso de técnicas estatísticas uma das principais ferramentas para gerar uma vantagem competitiva. Neste projeto, para além da utilização de algumas das sete ferramentas básicas da qualidade, salienta-se a adoção da filosofia Seis Sigma que se tem mostrado determinante na redução da variabilidade de um processo ou características de um produto, permitindo satisfazer as especificações, eliminar defeitos e reduzir os custos de operação para aumentar a rentabilidade.

O equipamento é um elemento importante do sistema de produção e o seu estado afeta diretamente a produtividade, a qualidade e os custos. Assim, estudar e aperfeiçoar o seu desempenho é uma medida preponderante para melhorar a eficiência da empresa, uma vez que reduz os custos de produção e prima pela qualidade do produto.

Este projeto foi desenvolvido numa indústria de torrefação de café cujo objetivo consistiu na medição e análise dos processos de embalagem, propondo melhorias. Primeiramente, realizou-se uma análise do processo produtivo seguido do estudo de quatro embaladoras. Foram avaliados os índices de eficiência global do equipamento (OEE), no qual as embaladoras obtiveram valores entre os 65 e 70% e bons índices para o indicador da qualidade e, através de diagramas de Pareto, foram identificados os principais motivos de paragem de cada embaladora. Procedeu-se, também, à análise da estabilidade e capacidade dos processos com recurso a funções específicas construídas com o software R, controlou-se a estabilidade através da implementação de cartas de controlo da qualidade construídas para o efeito. Constatou-se que os processos cumprem com a especificação, apresentam bons índices para a capacidade do processo e níveis sigma altos, contudo, verificou-se a existência de causas especiais de variação que se devem, essencialmente, a más práticas de controlo, ao não uso de cartas de controlo, e a ajustamentos baseados em observações únicas. Por fim, propuseram-se sugestões de melhoria.

Alguns dos resultados obtidos foram apresentados em conferência e publicados em revista:

Alves, M. R., Costa, A. R., & Barbosa, C. (2019). Six Sigma: Main Metrics and R Based Software for Industrial Quality Control and Teaching Purposes. In L. Barreto, J. C. Sá, & M. G. Santos (Eds.), *Proceedings of the 1st Conference on Quality Innovation and Sustainability* (pp. 127–136).

Costa, A. R., Barbosa, C., Santos, G., & Rui Alves, M. (2019). Six sigma: Main metrics and R based software for training purposes and practical industrial quality control. *Quality Innovation Prosperity*. <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I2.1278>

Palavras-chave: ferramentas da qualidade, pré-embalados, Seis Sigma, cartas de controle da qualidade

ABSTRACT

Quality in the food sector has evolved significantly due to the increase in consumer demands and the consequent changes in legislation, the development of markets and the increase in competition. The main function of quality is to guarantee the conformity of products with the respective specifications and implement the improvement of organizational processes. Thus, it becomes necessary to know the manufacturing capacity and identify the potential and possible improvements in the manufacturing process. There are many tools that can be used for possible diagnoses and improvements, and the use of statistical techniques are one of the main tools to generate a competitive advantage. In this project, in addition to the use of some of the seven basic quality tools, the adoption of the Six Sigma philosophy is highlighted, which has been shown to be decisive in what concerns the reduction of the variability of a process or in the characteristics of a product, allowing to satisfy specifications, eliminate defects and reduce operating costs to increase profitability.

The equipment is an important production system's element and its condition directly affects productivity, quality and costs. Thus, studying and improving its performance is a preponderant measure to improve the efficiency of the company, since it reduces production costs and strives for product quality.

This project was developed in a coffee roasting industry aiming at measuring and analysing the packaging processes, proposing improvements. First, an analysis of the production process was carried out followed by the study of four packaging machines. The Global Equipment Efficiency indexes (OEE) were evaluated, in which the packing machines obtained values between 65 and 70% and good rates for the quality indicator and, through the Pareto Diagram, the main reasons for stopping each packaging machine were identified. The stability and capacity of the processes were analysed with specific functions created with the R software and stability was controlled through the implementation of quality control created for this purpose. It was observed that the processes comply with the specification, have good process capability index and sigma high levels, however, it was verified the existence of special causes of variation that are mainly due to poor control practices, the non-use of control charts, and adjustments based on unique observations. Finally, improvement suggestions were proposed.

Some of the results obtained were presented in conference and published in scientific journal:

Alves, M. R., Costa, A. R., & Barbosa, C. (2019). Six Sigma: Main Metrics and R Based Software for Industrial Quality Control and Teaching Purposes. In L. Barreto, J. C. Sá, & M. G. Santos (Eds.), *Proceedings of the 1st Conference on Quality Innovation and Sustainability* (pp. 127–136).

Costa, A. R., Barbosa, C., Santos, G., & Rui Alves, M. (2019). Six sigma: Main metrics and R based software for training purposes and practical industrial quality control. *Quality Innovation Prosperity*. <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I2.1278>

Keywords: quality tools, prepackaged foods, six sigma, quality control charts

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Conceito da qualidade.....	1
1.2. Desenvolvimento da qualidade	1
1.3. Gurus da qualidade.....	3
1.4. As sete ferramentas básicas da qualidade.....	6
1.4.1. Histograma.....	7
1.4.2. Folha de verificação	7
1.4.3. Diagrama de Pareto	7
1.4.4. Diagrama de causa e efeito	8
1.4.5. Fluxograma	8
1.4.6. Diagrama de dispersão	8
1.4.7. Cartas de controlo.....	8
1.4.8. Carta de controlo de valores individuais e amplitude móvel (<i>I, MR</i>)	11
1.4.9. Carta de controlo da média e desvio padrão (<i>x, s</i>)	12
1.4.10. Interpretação das cartas de controlo da qualidade	13
1.5. Outras ferramentas/modelos da qualidade.....	14
1.6. OEE – Eficiência global do equipamento.....	14
1.6.1. Disponibilidade	16
1.6.2. Performance.....	16

1.6.3.	Qualidade	17
1.7.	Conceito de Seis Sigma	17
1.8.	Métricas Seis Sigma	19
1.8.1.	Capacidade do processo (<i>C_p</i>).....	20
1.8.2.	Performance do processo (<i>P_p</i>).....	22
1.8.3.	Desempenho do processo (<i>PPM</i>)	22
1.8.4.	Dispersão (<i>D</i>).....	23
1.8.5.	Nível sigma	24
1.9.	Análise das métricas	25
1.10.	Metodologia DMAIC	25
2.	ENQUADRAMENTO	26
2.1.	Enquadramento legal.....	28
3.	MÉTODOS	30
3.1.	OEE - Eficiência global do equipamento	30
3.2.	Principais motivos de paragens	31
3.3.	Controlo dos processos	31
3.3.1.	Tratamento estatístico	31
3.3.2.	Cartas de controlo da qualidade	33
4.	RESULTADOS	35
4.1.	Análise do processo produtivo.....	35
4.2.	OEE	41
4.2.1.	Resultados obtidos	41
4.2.2.	Análise dos principais motivos de paragem	45
	Linha 1 – Embaladora de grão	45
	Linha 2 – Embaladora de grão	47
	Linha 4 – Embaladora de pastilha.....	48
	Linha 5 – Embaladora de cápsula	49

4.2.3.	Conclusões sobre o OEE	50
4.3.	Controlo das embaladoras.....	51
4.3.1.	Análise da Linha 1 – Embaladora de grão.....	52
4.3.2.	Análise da Linha 2 – Embaladora de grão.....	53
4.3.3.	Análise da Linha 4 – Embaladora de pastilha	55
4.3.4.	Análise da linha 5 – Embaladora de cápsula	57
4.3.5.	Conclusões sobre a análise das embaladoras	58
4.4.	Cartas de controlo.....	59
4.4.1.	Linha 1 – Embaladora de grão.....	60
4.4.2.	Linha 2 – Embaladora de grão.....	63
4.4.3.	Linha 4 – Embaladora de pastilha	66
4.4.4.	Linha 5 – Embaladora de cápsula.....	69
4.4.5	Conclusões sobre as cartas de controlo da qualidade.....	72
5.	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	74
	ANEXOS	79
A.1	Constantes para cartas de controlo	79
A.2	Função <i>SS.Normais</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do conceito da qualidade.	2
Figura 2 - Distribuição normal padrão mostrando níveis Z e limites de especificação (SL) tal como publicado por Razzaghi, 2016.....	18
Figura 3 - Desvio do processo de 1,5 sigma e taxa de defeitos correspondente ao nível 4,5 sigma	19
Figura 4 - Variação de um processo em função do desvio padrão.	21
Figura 5 - Sede Meltino em Braga.....	27
Figura 6 - Logótipo da marca.	27
Figura 7 - Logótipo do software R.....	31
Figura 8 - Exemplo de dados de saída da função SS.Normais no software R.	33
Figura 9 - Máquina de limpeza e armazenamento do café e descafeinado verde.	36
Figura 10 - Sistema de torra: receção, torra e arrefecimento do café e descafeinado. ...	37
Figura 11 - Embaladoras de grão das linhas 1 (direita) e 2 (esquerda).....	38
Figura 12 - Embaladora de pastilha (linha 4).	39
Figura 13 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de grão da linha 1.	46
Figura 14 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de grão da linha 2.	47
Figura 15 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de pastilha.	49
Figura 16 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de cápsula.	50
Figura 17 - Variação do peso médio da linha 1. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.....	52
Figura 18 - Saída dos dados da linha 1 pelo software R.	53
Figura 19 - Variação do peso médio da linha 2. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.....	54
Figura 20 - Saída dos dados da linha 2 pelo software R.	55
Figura 21 - Variação do peso médio da linha 4. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.....	56
Figura 22 - Saída dos dados da linha 4 pelo software R.	56

Figura 23 - Variação do peso médio da linha 5. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.....	57
Figura 24 - Saída dos dados da linha 5 pelo software R.	58
Figura 25 - Carta de controlo para valores individuais (<i>I</i>) da embaladora da linha 1.....	62
Figura 26 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (<i>MR</i>) da embaladora da linha 1.	62
Figura 27 - Carta de controlo da média da embaladora da linha 2.	65
Figura 28 - Carta de controlo do desvio padrão da embaladora da linha 2.	65
Figura 29 - Carta de controlo para valores individuais (<i>I</i>) da embaladora de pastilha. ..	68
Figura 30 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (<i>MR</i>) da embaladora de pastilha.	68
Figura 31 - Carta de controlo para valores individuais (<i>I</i>) da embaladora de cápsula....	71
Figura 32 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (<i>MR</i>) da embaladora de cápsula.	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - As seis tipos de perdas de eficiência de um equipamento.	15
Tabela 2 - Relação entre nível sigma, PPM e percentagem de produtos conformes do processo.	24
Tabela 3 - Erros admitidos por defeito nos conteúdos efetivos.....	29
Tabela 4 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora da linha 1... 41	
Tabela 5 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora da linha 2... 42	
Tabela 6 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora de pastilha. 43	
Tabela 7 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora de cápsula.. 44	
Tabela 8 - Valores médios de OEE de cada embaladora.	45
Tabela 9 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora da linha 1.... 46	
Tabela 10 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora da linha 2.. 47	
Tabela 11 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora de pastilha. 48	
Tabela 12 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora de cápsulas.	49
Tabela 13 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 1.	60
Tabela 14 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 2.	63
Tabela 15 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora de pastilha.	66
Tabela 16 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora de cápsula.	69
Tabela 17 - Constantes para Cartas de Controlo.	79

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AE - Amplitude da Especificação

C_p – Capacidade do processo

CUSUM - *Cumulative Sum Control Chart* (Carta de controlo de somas acumulativas)

D - Dispersão

DMAIC - *Define, Measure, Analyze, Improve and control* (Definir, medir, analisar, implementar e controlar)

EA - Erro admissível

EAD - Erro admissível por defeito

EN – Norma europeia

EWMA - *Exponentially Weighted Moving Average Chart* (Carta da média exponencialmente amortecida)

FEFO – *First Expire, First Out* (Primeiro a expirar, primeiro a sair)

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos modos de falha e seus efeitos)

ISO *International Standardization Organization* (Organização Internacional de Normalização)

LC - Limite central

LIC - Limite inferior de controlo

LIE - Limite inferior de especificação

LIP - Limite inferior do processo

LSC - Limite superior de controlo

LSE - Limite superior de especificação

LSP - Limite superior do processo

NP - Norma portuguesa

OEE - *Overall Equipment Effectiveness* (Eficiência global do equipamento)

PDCA - *Plan, Do, Check, Act* (Planear, fazer, controlar, agir)

PDPC - *Process Decision Program Chart* (Gráfico de decisão do processo)

P_p – Performance do processo

PPM – Partes por milhão

QFD - *Quality Function Deployment* (Desdobramento da função qualidade)

QN - Quantidade nominal

SIPOC - *Supplier, Inputs, Process, Outputs and Customers* (Fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes)

SPC - *Statistical Process Control* (Controlo estatístico do processo)

TPM - *Total Productive Maintenance* (Manutenção produtiva total)

TQC - *Total Quality Control* (Controlo total da qualidade)

VN – Valor nominal

VOC – Voz do cliente

VOP – Voz do processo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Conceito da qualidade

Segundo a NP EN ISO 9000:2015, a qualidade dos produtos e serviços de uma organização é definida como “a aptidão para satisfazer os clientes e pelo impacto, pretendido ou não, sobre as partes interessadas relevantes”. As organizações devem estar em constante atualização para se adaptarem às mudanças e ter capacidade para organizar os meios e recursos necessários que satisfaçam as exigências, necessidades e expectativas dos clientes. Assim sendo, “a qualidade constitui o motor do sucesso de qualquer organização e o seu reconhecimento, o fator de distinção e escolha de produtos ou serviços” (Pinto & Soares, 2009).

1.2. Desenvolvimento da qualidade

A noção de qualidade é um conceito que se desenvolveu desde as primeiras civilizações, tendo vindo a evoluir e a ser aplicada ao longo da história, tal como se mostra, de forma esquemática, na Figura 1 (Pires, 2007).

Inicialmente, durante o período de produção artesanal ou de muito pequenas séries, o artesão identificava as necessidades específicas de cada cliente, concebia o produto, fabricava-o, vendia-o e, caso necessário, introduzia eventuais alterações pretendidas (Pires, 2007).

No século XIX, com a Revolução Industrial, o sistema de fábrica foi implementado e adotado o esquema de produção em massa e, para responder às necessidades de instrução e ordem dos operários, Taylor propôs a separação das tarefas de planeamento e controlo das tarefas de execução para conseguir grandes resultados ao nível da produtividade. Foi necessário adotar especificações que definiam critérios de aceitação e rejeição, assim, o produto era considerado de qualidade quando as suas características se encontravam de acordo com as especificações estabelecidas. Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) foram detetadas falhas na indústria de equipamentos militares, nomeadamente produtos fora das especificações e foi criada a primeira e significativa atividade da função da qualidade, a inspeção. O controlo da qualidade era, assim, uma atividade limitada à inspeção. A identificação e análise das causas dos defeitos e a correção das mesmas não eram, ainda, atividades relevantes (Pires, 2007; Roldão & Ribeiro, 2007).

No intervalo das duas grandes guerras mundiais surgem as técnicas estatísticas, o controlo estatístico do processo, desenvolvido por Shewhart, e as técnicas de amostragem, como

alternativa à inspeção, desenvolvidas por Harold Dodge e Harry Romig (Montgomery, 2009).

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945) veio evidenciar outros problemas, como falta de controlo da conceção, levando a especificações incompletas ou obtenção de produtos com características próximas dos limites das especificações, o que tornou notório que a aplicação das técnicas estatísticas era necessária para controlar e melhorar a qualidade dos produtos. Verificou-se um desenvolvimento no domínio desta área, particularmente no Japão e nos Estados Unidos da América (Montgomery, 2009; Pires, 2007).

Na década de 60 surge a era da garantia da qualidade, que envolve atividades planeadas e sistemáticas, na qual as empresas começam a apostar na diferenciação dos produtos pela qualidade. Em 1987, surgem as normas de garantia da qualidade - ISO 9000 - aplicáveis a qualquer empresa, cuja designação foi posteriormente alterada para normas de gestão da qualidade, com uma preocupação com a melhoria contínua. Ao longo do século XX, os métodos estatísticos sofreram um grande desenvolvimento com o surgimento de conceitos como qualidade total, as sete ferramentas básicas da qualidade e Seis Sigma (Montgomery, 2009; Roldão & Ribeiro, 2007).

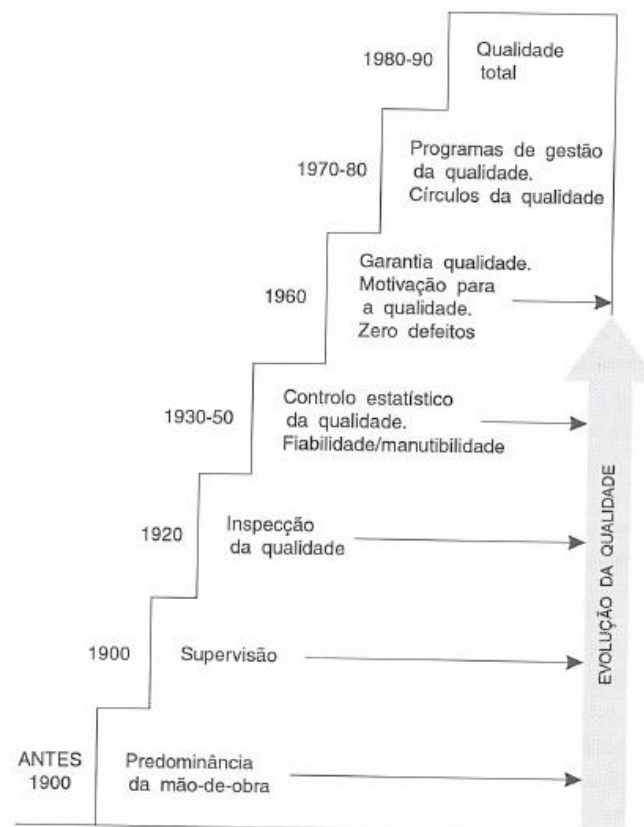


Figura 1 - Evolução do conceito da qualidade.

(Fonte: Pires, 2007)

1.3. Gurus da qualidade

O conceito da qualidade evoluiu consideravelmente com o contributo dos designados gurus da qualidade, de entre os quais se destacam, em geral: Shewhart, Deming, Juran, Feigenbaum, Crosby e Ishikawa. Cada um contribuiu através do desenvolvimento de teorias, técnicas específicas e conceitos utilizados atualmente como controlo total da qualidade (TQC - *Total Quality Control*) e controlo estatístico do processo (SPC - *Statistical Process Control*).

1.3.1. Walter A. Shewhart

Walter Andrew Shewhart, o pai do controlo estatístico da qualidade, foi o fundador do movimento da qualidade, durante a primeira metade do século XX, com a aplicação de métodos estatísticos para o controlo da produção em massa. A maior parte da sua carreira profissional foi passada na *Western Electric* e nos Laboratórios *Bell Telephone* (Smith, 2011; Wilcox, 2005).

Em 1924 propôs a sua teoria da variabilidade, com a introdução dos conceitos de causas comuns e causas especiais e desenvolveu as cartas de controlo para monitorizar o comportamento de um processo (Smith, 2011). Estes conceitos serão aprofundados mais adiante.

Desafiou a abordagem da qualidade baseada na inspeção com a publicação dos seus livros, em 1931, "*Economist Control of Quality of Manufactured Product*" (Controlo Económico da Qualidade do Produto Fabricado) e, em 1939, *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control* (Método Estatístico do ponto de vista do Controlo de Qualidade), deste modo, popularizou o controlo estatístico e a sua utilização alargou-se por toda a indústria (Smith, 2011).

Os trabalhos de Shewhart foram desenvolvidos por Deming, Juran, Ishikawa e muitos outros, que os aplicaram e desenvolveram na melhoria da qualidade, que cresceu ao longo do século XX. Como exemplo o conceito do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), também conhecido como ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming, um método de gestão da qualidade que consiste numa abordagem sistemática de resolução de problemas, foi criado por Shewhart e mais tarde divulgado por Deming (Wilcox, 2005).

1.3.2. W. Edwards Deming

Edwards Deming divulgou e desenvolveu o movimento da qualidade a nível mundial. Começou por aplicar os princípios do controlo estatístico do processo de Walter Shewhart nos Estados Unidos e o seu contributo foi fundamental para o desenvolvimento da indústria japonesa no pós-guerra quando, em 1950, levou esses conhecimentos para o Japão, ajudando a que o país se tornasse na potência económica que hoje é (Saraiva & Teixeira, 2009).

Deming pôs em causa o mito da qualidade, que assumia que a melhoria da qualidade significava aumento de custos, com a cadeia de reação de Deming. Esta relaciona a melhoria da qualidade com o aumento da produtividade, uma vez que, com a melhoria da qualidade se verifica uma redução dos custos, com a diminuição do retrabalho e de desperdícios, proporcionando uma melhor utilização dos recursos, aumentando a produtividade (António & Teixeira, 2007; Pires, 2007). A sua filosofia da qualidade é expressa através de catorze princípios, que podem ser aplicados tanto em produtos como em serviços, que favorecem a melhoria contínua salientando o empenho e responsabilidade da gestão e a necessidade de motivar os trabalhadores (Gomes, 2004).

1.3.3. Joseph M. Juran

Joseph Juran define a qualidade como aptidão para o uso, ou seja, focaliza a qualidade do produto ou serviço na satisfação das necessidades dos clientes. Juntamente com Deming, contribuiu para o desenvolvimento industrial japonês no pós-guerra e realça também a importância do controlo estatístico do processo. Em 1951 publicou o *Quality Control Handbook*, onde apresentou o modelo de custos da qualidade. O modelo quantifica o custo dos desperdícios e produtos defeituosos, denominados de custos da má qualidade, que poderiam ser reduzidos através de investimentos em prevenção e inspeção (Saraiva & Teixeira, 2009).

Para Juran a gestão da qualidade segue três processos: planeamento, controlo e melhoria, conhecidos como Trilogia de Juran. O planeamento requer o estabelecimento de objetivos e o desenvolvimento de produtos e processos necessários para satisfazer as necessidades dos clientes, o controlo tem como finalidade avaliar o desempenho do processo atual e de ações corretivas através da implementação de um sistema de métricas definidas e a melhoria da qualidade assenta na identificação de oportunidades ou projetos de melhoria

que possam contribuir para a redução de desperdícios e para a melhoria da satisfação dos trabalhadores e dos clientes (Gomes, 2004).

1.3.4. Armand V. Feigenbaum

Feigenbaum enquanto responsável pela qualidade na *General Electric*, propôs em 1951 no seu livro *Quality Control: Principles, practices and administration*, o conceito de controlo total da qualidade (TQC), uma abordagem para a melhoria da qualidade que requer o envolvimento de todas as funções da organização e não apenas da produção. Para além dos métodos estatísticos e técnicas de inspeção, a qualidade deve preocupar-se também com o desenvolvimento do produto, vendas e serviço prestado ao cliente (Saraiva & Teixeira, 2009).

Tal como Juran, Feigenbaum também contribuiu para o estudo dos custos da qualidade. Estes são divididos em custos de prevenção, custos de avaliação e custos de falha que se subdividem em custos internos e custos externos. Os custos de prevenção são custos associados a atividades que visam prevenir ou reduzir os custos de avaliação e de falha e incluem custos de planeamento e controlo da qualidade e formação. Os custos da avaliação são custos inerentes à avaliação da conformidade como a inspeção, auditorias da qualidade e avaliação dos fornecedores. Os custos de falha interna são custos que ocorrem antes do produto ser entregue ao cliente, como resíduos, produtos não conformes ou retrabalho e custos de falha externa são associados a reparações, reclamações e devoluções (Mitra, 2016).

Segundo Bangert (2012) nas organizações em que se aplica o modelo de custos da qualidade, à medida que os custos de prevenção e avaliação aumentam, os custos de falha tendem a diminuir, ou seja, é essencial investir na prevenção e avaliação, uma vez que as falhas, para além dos custos que acarretam, podem levar à perda da confiança por parte dos clientes. A análise dos custos da qualidade fornece um método de avaliação da eficácia da gestão da qualidade e determina os problemas, as oportunidades e as ações a tomar.

1.3.5. Philip B. Crosby

Philip Crosby começou a sua carreira como inspetor, porém, em 1979, fundou a *Philip Crosby Associates Inc.* e o *Crosby Quality College*. Os seus métodos são conhecidos por conceitos como “zero defeitos”, “conformidade com os requisitos” e a “qualidade não tem custos” (Saraiva & Teixeira, 2009).

Para Crosby a qualidade é alcançada quando os requisitos ou as especificações são satisfeitos. O padrão de desempenho deve ser o de zero defeitos ou produção sem defeitos e introduz a ideia de que a qualidade não tem custos, no sentido que compensa o investimento, desde que se produza bem à primeira, deste modo, promove a prevenção e não a deteção (Beckford, 2002; Gomes, 2004; Pires, 2007).

1.3.6. Kaoru Ishikawa

Ishikawa concebeu um método de gestão baseado na qualidade total e adaptado à cultura japonesa. Esse método procura identificar as exigências do cliente, antecipar defeitos e otimizar o binómio “custo-qualidade” (Duret & Maurice, 2009), ou seja, para Ishikawa a gestão da qualidade é definida como o desenvolvimento e produção de um produto, ou desenvolvimento e fornecimento de um serviço, da forma mais económica, útil e satisfatória para o consumidor (Gomes, 2004).

O seu principal contributo reside no incentivo à utilização de um conjunto de ferramentas da qualidade, conhecidas pela designação de “as sete ferramentas básicas da qualidade”, métodos de apoio à resolução de problemas da qualidade e, desenvolveu ainda o diagrama de causa e efeito, também designado como diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe (Duret & Maurice, 2009; Gomes, 2004). Estes conceitos serão aprofundados mais adiante.

Ishikawa introduziu o conceito de círculos da qualidade que consistem em equipas de trabalho que regularmente se reúnem para identificar, investigar, analisar e resolver problemas da qualidade que surjam, de modo a contribuir para o desenvolvimento e melhoria da organização e satisfação no trabalho (Gomes, 2004).

Apesar das diferenças entre os contributos dos gurus, todos salientam um conjunto de elementos que se tornaram pilares da teoria da qualidade como: envolvimento da gestão de topo e dos colaboradores; gestão baseada em métricas e factos; utilização de ferramentas estatísticas; foco no cliente e a importância da melhoria (Gomes, 2004).

1.4. As sete ferramentas básicas da qualidade

As ferramentas básicas da qualidade são usadas frequentemente como suporte ao desenvolvimento da qualidade ou ao apoio à decisão na análise de determinado problema, i.e., para apoiar, desenvolver e avançar um processo de melhoria contínua. Para isso é necessário seleccionar as ferramentas e técnicas apropriadas (Pyo, 2005).

As sete ferramentas básicas da qualidade são: histograma, folha de verificação, diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, fluxograma, diagrama de dispersão e cartas de controlo.

1.4.1. Histograma

Os histogramas são utilizados para representar de forma gráfica a distribuição dos dados obtidos no controlo da qualidade. Os dados são agrupados em classes, determinando-se a frequência das classes. Em seguida, constrói-se um diagrama de barras, em que a altura de cada barra (eixo dos YY') corresponde à frequência de cada classe e a variável em estudo é representada no eixo XX'. Trata-se de uma ferramenta simples, mas muito útil, para resumir, analisar e exibir dados, permitindo verificar com facilidade, por exemplo, se os dados seguem uma distribuição normal (Branco, 2008). É importante notar-se que a normalidade dos dados é base para o desenvolvimento de muitas métricas Seis Sigma.

1.4.2. Folha de verificação

A folha de verificação, ou check-list, é um formulário estruturado para a recolha e análise de dados históricos, atuais e operacionais (Kuendee, 2017). É uma das ferramentas de uso mais comum para garantir que as tarefas se desenrolam de acordo com a forma como foram planeadas.

1.4.3. Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é utilizado para visualizar, de forma rápida e simples, qual ou quais os defeitos ou problemas que ocorrem com mais frequência num determinado processo. Trata-se de um diagrama de barras colocadas por ordem decrescente de grandeza em que a altura de cada barra (eixo dos YY') corresponde ao número de vezes que se observaram problemas devidos a uma determinada causa (estando as causas especificadas no eixo dos XX'). Além disso, o gráfico contém uma linha com as frequências acumuladas. O princípio de Pareto foi definido pela primeira vez por Vilfredo Pareto (economista italiano) mas a sua importância atual deve-se essencialmente aos trabalhos de Joseph Juran (Pyo, 2005). O princípio de Pareto estipula que 80% dos problemas se deve a 20% das causas. Estando as barras colocadas no gráfico por ordem decrescente de grandeza, facilmente se verifica quais as causas de problemas que devem ser encaradas com prioridade. Este diagrama pode ser aplicado a aspetos da produção que devem ser melhorados, como defeitos, tempos em excesso, redução de custos, bem como a reclamações de clientes, etc. (Roldão & Ribeiro, 2007).

1.4.4. Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito é uma ferramenta que ajuda a analisar todas as causas possíveis para um determinado problema, que devem depois ser investigadas (António & Teixeira, 2007). As principais classes de causas (normalmente referidas como 6M) são: métodos (procedimentos), materiais (matérias primas), mão-de-obra (pessoal), máquinas (equipamentos), meio ambiente (ambiente onde se realiza a produção) e medição e monitorização (métodos de controlo). Cada uma destas classes é posteriormente dividida e subdividida em causas relacionadas com a respetiva classe para ajudar a sistematizar e a hierarquizar a análise do problema ou efeito (Branco, 2008).

1.4.5. Fluxograma

Os fluxogramas são representações gráficas de um processo (sequência de atividades). A sua utilização simplifica a visão global do processo e facilita, significativamente, a sua análise, uma vez que mostra todas as etapas do processo ajudando a identificar pontos críticos para controlo, sugerir áreas para melhorias e ajudar a explicar e resolver problemas (Kuendee, 2017).

1.4.6. Diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão permite verificar o comportamento e a relação entre duas variáveis. Esta ferramenta é útil para validar a relação entre uma causa e efeito, bem como para identificar eventuais diferenças do grau de relação ao longo de uma escala de valores. A correlação é indicada pela forma dos pontos, podendo ser muito elevada se se aproxima muito de uma linha reta, ou nula se assume uma forma circular. O sinal da correlação pode também ser aproximado pela inclinação do diagrama e pode ser positiva (quando y aumenta com x), negativa (se à medida que x aumenta, y diminui) ou nula (Drake et al., 2008). Estes factos não deverão impedir, no entanto, o cálculo exato da correlação entre as duas variáveis em questão, o coeficiente de correlação, r , que varia entre -1 (correlação negativa) e 1 (correlação positiva). Quando o valor absoluto de r está próximo de 0 indica uma correlação fraca (Kume, 1993).

1.4.7. Cartas de controlo

O controlo estatístico do processo (SPC, *statistical process control* em inglês) recorre a cartas de controlo, uma técnica muito usada com o objetivo de fornecer informações sobre o desempenho de um processo. Trata-se de uma ferramenta de grande eficácia para o controlo e melhoria de processos, uma vez que reflete ao longo do tempo a evolução de um parâmetro ou característica de um processo. Assim, a sua principal função é medir e

monitorizar a estabilidade do processo para se verificar se este está estável ou fora de controlo (Pable et al., 2010).

As cartas de controlo são constituídas por uma linha de tendência central, uma linha superior para o limite superior de controlo (*LSC*) e uma linha inferior para o limite inferior de controlo (*LIC*). Estes limites são obtidos através de dados de amostras previamente recolhidas. Comparando os dados atuais com os limites de controlo consegue-se retirar conclusões sobre a variação do processo através da verificação da existência de algum ponto fora dos limites de controlo (Montgomery, 2009).

As cartas de controlo têm por objetivo verificar, através de observações efetuadas em amostras (chamadas estatísticas), ao longo do tempo, se um determinado parâmetro do processo se mantém nos valores previstos. Por exemplo, a carta das médias de amostras ($\bar{x}$) tem por objetivo verificar se a média do processo (μ) está correta, do mesmo modo que a carta dos desvios padrão (s) ou amplitudes (r) das amostras tem por objetivo verificar se a dispersão do processo (σ) se mantém nos valores esperados. Como as estatísticas são obtidas em amostras, são variáveis de amostra para amostra, e essa variação depende, e pode ser estimada, através do desvio padrão do processo e do tipo de distribuição amostral.

Através da aplicação de cartas de controlo é possível compreender e separar a dispersão natural do processo (enquanto as estatísticas se localizarem entre os limites das cartas de controlo), daquela que é causada pela presença de causas especiais (que faz com que alterações nos parâmetros do processo se reflitam em estatísticas que excedem os limites das cartas de controlo) (Rosa et al., 2014).

As causas comuns são causas naturais e aleatórias, intrínsecas ao processo e impossíveis de remover. Se a variabilidade do processo se dever apenas a causas comuns, o processo diz-se sob controlo estatístico. As causas especiais de variação são frequentemente irregulares e instáveis e, por conseguinte, difíceis de prever. Entre estas causas especiais podem citar-se alterações devidas a mudanças de turno, erros de operadores, quebra na tensão elétrica, más práticas de controlo ou descalibrações das máquinas. Estas causas devem ser estudadas e removidas, pois, nestas circunstâncias o processo está fora do controlo estatístico (Pires, 2007). O diagrama de causa e efeito é uma das ferramentas que podem ser utilizadas para identificar as causas especiais de variação (António & Teixeira, 2007).

O objetivo das cartas de controlo é então verificar se um processo está afetado apenas por causas comuns de variabilidade e determinar quando surgem causas especiais de variação com tendência a originar produtos defeituosos (Courtois et al., 1997).

Dentro das cartas de controlo mais usuais consideram-se dois grandes grupos: cartas por variáveis e cartas por atributos. As cartas de controlo por variáveis são cartas cujo objetivo é acompanhar diretamente os valores das características da qualidade expressas em escalas quantitativas (Rosa et al., 2014):

- Cartas de média e amplitude ($\bar{x}$, R)
- Cartas de média e desvio padrão ($\bar{x}$, s)
- Cartas de valores individuais e amplitudes móveis (I , MR)
- Cartas de somas acumuladas (CUSUM)
- Cartas da média móvel exponencialmente amortecida (EWMA)

As cartas de controlo são muitas vezes consideradas difíceis de entender, mas obedecem a princípios bastante simples desde que se conheçam os fundamentos da distribuição normal. Se um processo decorrer de acordo com as leis de uma distribuição normal, com média μ e desvio padrão σ , as médias de amostras de tamanho n , retiradas do processo, seguem as leis de uma distribuição normal com média μ e desvio padrão $\sigma / \sqrt{n}$. Esta relação permite escrever que qualquer média de amostra de tamanho n deve estar compreendida no intervalo definido pelos seguintes dois limites inferior e superior (Alves, 2016b):

$$\mu - z_{(1-\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \mu + z_{(1-\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Simultaneamente, o χ^2 das amostras (leia-se qui-quadrado das amostras) calculado como:

$$\chi^2 = \frac{(n-1) \times s_i^2}{\sigma^2}$$

Segue as leis de uma distribuição de qui-quadrado com $n-1$ graus de liberdade. Logo, é possível calcular intervalos de confiança para as médias e desvios padrão das amostras se o valor de σ for conhecido ou estipulado à partida. Atendendo a que

$$\chi^2_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right)} \leq \left[\frac{(n-1) \times s_i^2}{\sigma^2} \right] \leq \chi^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}; n-1\right)}$$

após uma pequena manipulação, os limites a ser usados nas cartas de controlo da qualidade para os desvios padrão são:

$$\sqrt{\frac{\chi^2_{(\frac{\alpha}{2}; n-1)} \sigma^2}{n-1}} \leq s \leq \sqrt{\frac{\chi^2_{(1-\frac{\alpha}{2}; n-1)} \sigma^2}{n-1}}$$

Conforme o valor escolhido para α , assim as cartas de controlo para as médias e desvios padrão das amostras irão incluir uma determinada percentagem dos valores observados na prática, enquanto os parâmetros do processo, μ e σ , se mantiverem nos valores de referência. Por exemplo, um $\alpha = 0.05$, corresponde a um intervalo de confiança de $1-\alpha = 0.95$ ou 95% e espera-se que 95% das amostras apresentem valores das estatísticas $\bar{x}$, s e/ou r dentro desses limites (Alves, 2016b).

No período entre as duas grandes guerras do Séc. XX, os cálculos de somatórios, raízes quadradas, etc., não eram fáceis, pelo que se simplificavam os procedimentos estatísticos o mais possível. Segundo Wadsworth, Harrison Stephens & Godfrey (2001) as amplitudes das amostras, $r_i = x_{max} - x_{min}$, seguiam uma distribuição possível de caracterizar, enquanto os tamanhos das amostras não excedessem $n = 10$. E verificou também que essas amplitudes se correlacionavam com o desvio padrão amostral. Assim, foram desenvolvidas cartas de controlo para as amplitudes amostrais, como forma indireta de verificar se a dispersão do processo (σ) se mantinha em valores aceitáveis (Hartley, 1942).

As cartas de controlo por atributos utilizam-se quando não é possível exprimir as características de uma forma quantitativa e as medidas resultam da contagem de dados originalmente expressos em escalas nominais ou ordinais: (Rosa et al., 2014)

- Cartas para números de defeitos (cartas tipo c)
- Cartas para defeitos por unidade (cartas tipo u)
- Cartas para números de defeituosos (cartas tipo np)
- Cartas para proporção de defeituosos (cartas tipo p)

1.4.8. Carta de controlo de valores individuais e amplitude móvel (I , MR)

A carta de controlo de valores individuais (I) e da amplitude móvel (MR) é utilizada quando a amostra é constituída por uma única observação individual ($n = 1$). A amplitude móvel é a diferença absoluta entre dois valores consecutivos, i.e., entre um valor x_i e o

valor anterior x_{i-1} , razão pela qual, havendo n observações, haverá $n-1$ amplitudes móveis. O cálculo da amplitude móvel é dado por (Alves, 2019c):

$$MR_1 = |x_2 - x_1|, \quad MR_2 = |x_3 - x_2|, \quad \dots, \quad MR_{n-1} = |x_n - x_{n-1}|$$

Neste caso, a estimativa da variação comum do processo é feita a partir do cálculo da amplitude entre cada dois valores consecutivos, de seguida é calculada a média das amplitudes ($\overline{MR}$) (Alves, 2019).

$$\overline{MR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |x_i - x_{i-1}|$$

Para a linha de tendência central das cartas de controlo para valores individuais utiliza-se a média dos valores observados ($\bar{x}$) e para a carta de controlo das amplitudes móveis utiliza-se a média das amplitudes ($\overline{MR}$) (Pyzdek & Keller, 2009):

$$LC_x = \bar{x}$$

$$LC_{MR} = \overline{MR}$$

Para o cálculo dos limites de controlo utilizam-se as seguintes equações (Pyzdek & Keller, 2009):

$$LIC_x = \bar{x} - E_2 \times \overline{MR}$$

$$LSC_x = \bar{x} + E_2 \times \overline{MR}$$

$$LIC_{MR} = D_3 \times \overline{MR}$$

$$LSC_{MR} = D_4 \times \overline{MR}$$

As constantes E_2 , D_3 e D_4 são valores tabelados que dependem da dimensão da amostra, para estas cartas considera-se $n = 2$. Encontram-se na tabela 17 em anexo (A.1).

1.4.9. Carta de controlo da média e desvio padrão ($\bar{x}$, s)

Na carta de controlo da média e desvio padrão para estimar a média do processo, primeiro calcula-se a média de cada amostra e de seguida o cálculo da média das médias ($\bar{\bar{x}}$), que representa a melhor estimativa da média do processo, i.e., a média total é igual à média das médias (Alves, 2019):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{x}_i$$

Para calcular o desvio padrão comum, primeiro calculam-se os desvios padrão de todas as amostras, depois a média de todos os desvios $\bar{s}$ (Alves, 2019):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i$$

onde n é o tamanho da amostra e N o número de amostras.

Para a linha de tendência central da carta de controlo da média utiliza-se a média das médias das amostras e para a carta de controlo do desvio padrão utiliza-se a média dos desvios-padrão:

$$LC_x = \bar{\bar{x}}$$

$$LC_s = \bar{s}$$

Para o cálculo dos limites de controlo utilizam-se as seguintes equações (Pyzdek & Keller, 2009):

$$LIC_x = \bar{\bar{x}} - A_3 \times \bar{s}$$

$$LSC_x = \bar{\bar{x}} + A_3 \times \bar{s}$$

$$LIC_s = B_3 \times \bar{s}$$

$$LSC_s = B_4 \times \bar{s}$$

As constantes A_3 , B_3 e B_4 são valores tabelados que dependem da dimensão da amostra. Encontram-se na tabela 17 em anexo (A.1).

1.4.10. Interpretação das cartas de controlo da qualidade

Um processo encontra-se sob controlo caso o número de pontos fora dos limites não exceda o previsto pela distribuição normal, de acordo com as constantes usadas para o cálculo dos limites. Por exemplo, se os limites forem calculados com uma confiança de 95%, esperar-se-á que 5 em cada 100 pontos excedam os limites das cartas. Esperar-se-á também que os pontos se distribuam aleatoriamente em torno do limite central (Lisboa & Gomes, 2006; Rosa et al., 2014).

Segundo Pires (2007) na análise de uma carta de controlo se se verificar um descentramento pode significar mudanças no *setup*, alterações nas condições ambientais e pontos isolados fora de controlo podem significar defeitos no material, arranques ou paragens.

Um processo encontra-se fora do controlo se oito ponto consecutivos acima ou abaixo do limite central e quando existe uma série de sete intervalos consecutivos crescentes ou decrescentes, demonstrando ausência de aleatoriedade da localização dos pontos nas cartas (António & Teixeira, 2007).

1.5. Outras ferramentas/modelos da qualidade

Para além destas sete ferramentas, ao longo dos tempos, com o aumento das exigências dos sistemas, foram surgindo novas ferramentas e metodologias que visam também a melhoria contínua e a resolução de problemas, entre as quais: as sete novas ferramentas da qualidade (diagrama de afinidades, diagrama de relações, diagrama em árvore, diagrama de matriz, matriz de prioridades e gráfico de decisão do processo (PDPC)), *Brainstorming*, 5S, FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), QFD (*Quality Function Deployment*), Lean, TPM (*Total Productive Maintenance*), e *Six Sigma*, apenas para citar as mais usadas e discutidas na literatura. Algumas ferramentas foram de tal modo desenvolvidas que podem ser consideradas modelos da qualidade. Um exemplo são as cartas de controlo da qualidade (ferramenta básica da qualidade) que foram sendo cada vez mais desenvolvidas, e foram juntas a outros procedimentos estatísticos e outras ferramentas para originar o Seis Sigma, que pela sua complexidade, se assume como um modelo estruturado da qualidade (Alves, 2019c).

1.6. OEE – Eficiência global do equipamento

No sistema de produção o equipamento é um elemento importante e o seu estado afeta diretamente a produtividade, a qualidade e os custos. Um equipamento que apresente uma baixa eficiência gera enormes perdas para a empresa, assim, melhorar a sua eficiência é uma medida eficaz para melhorar a eficiência da empresa, uma vez que os custos de produção são reduzidos promovendo o desenvolvimento rápido e sustentável da empresa (Zhu, 2011).

O indicador de eficiência global do equipamento (OEE do inglês *overall equipment effectiveness*) surgiu na década de 1980, desenvolvido por Seiichi Nakajima inicialmente criado para apoiar a filosofia de manutenção produtiva total (TPM) (J. P. Pinto, 2010). É

uma métrica utilizada comumente nas indústrias para identificar e medir a produtividade das máquinas e o seu principal objetivo é melhorar e sustentar a eficiência do equipamento (Hedman et al., 2016).

Esta ferramenta pode identificar possíveis perdas e sugerir ações para minimizar sua ocorrência (Sayuti et al., 2019) uma vez que se concentra em maximizar a eficácia do equipamento, reduzindo o seu tempo de inatividade (Chong et al., 2015).

Na filosofia do OEE as seis principais perdas de produção que causam grandes paralisações estão representadas na tabela 1.

Tabela 1 - As seis tipos de perdas de eficiência de um equipamento.

(Adaptado de: Gupta & Vardhan, 2016; Zhu, 2011)

Distribuição de eficiência	Seis tipos de perdas	Causas	Efeitos
Perdas de disponibilidade	Paragens não programadas	- Falha/avaria do equipamento - Falha de energia - Falta de material de embalagem ou matéria-prima	- Tempo troca de ferramentas - Tempo de ajuste - Tempo de espera
	Paragens programadas	- Aquecimento do equipamento - Troca material de embalagem - Limpeza - Indisponibilidade do operador/reuniões/intervalos - Configuração e ajustes: afinação, set up, manutenção preventiva	
Perdas de performance	Pequenas paragens	- Desgaste do equipamento - Material abaixo do padrão	Redução de velocidades de produção
	Perda de velocidade		
Perdas de qualidade	Desperdícios da produção	- Má configuração do equipamento - Erro do operador	Produtos não conformes
	Desperdícios dos arranques	- Má configuração do equipamento - Rejeições inerentes ao próprio processo de arranque	

As perdas por falha do equipamento, avarias ou indisponibilidade dos operadores, consideradas como tempo perdido, são usadas para o cálculo da disponibilidade do equipamento. As microparagens e perdas por redução de velocidade são usadas para determinar a eficiência do desempenho do equipamento. Finalmente, as perdas defeituosas e de inicialização da produção são classificadas como perdas de rendimento de qualidade (Chong et al., 2015).

Cada um dos indicadores representa uma perda de eficiência produtiva e o objetivo é reduzir as seis grandes perdas.

1.6.1. Disponibilidade

O indicador disponibilidade resulta da comparação do tempo planeado de produção e o tempo de operação, i.e., representa a percentagem de tempo que as linhas estiveram a trabalhar em contínuo, sem interrupções. Ou seja, este indicador avalia o tempo trabalhado que resulta da subtração das perdas por paragens não programadas ao tempo planeado (Santos et al., 2019).

O levantamento das paragens é realizado pela contagem dos minutos em que a máquina esteve parada durante o período de tempo planeado.

$$\textbf{Disponibilidade} = \frac{\textit{Tempo de operação}}{\textit{Tempo planeado de produção}}$$

$$(\textit{Tempo de operação} = \textit{Tempo planeado} - \textit{Tempo de paragens não programadas})$$

$$(\textit{Tempo planeado de produção} = \textit{Duração do turno} - \textit{Tempo de paragens programadas})$$

1.6.2. Performance

O indicador performance reflete a situação de exibição de desempenho do equipamento, incluindo qualquer fator que faça com que o equipamento funcione numa condição inferior à produção ideal. As perdas de performance são as pequenas paragens e abrandamento de ciclos (Hedman et al., 2016).

$$\textbf{Performance} = \frac{\textit{Desempenho real}}{\textit{Desempenho ideal}}$$

$$(\textit{Desempenho real} = \textit{Quantidade produzida} / \textit{Tempo de operação})$$

O desempenho ideal ou padrão pode ser indicado pelo fornecedor do equipamento ou calculado através de medições ao ciclo real do desempenho da máquina quando o processo estiver a produzir unidades de forma consecutiva sem paragens ou ajustes.

As pequenas paragens são contabilizadas à semelhança das paragens, por contagem de minutos.

1.6.3. Qualidade

Quando um produto não está em conformidade com a especificação é considerado uma perda da qualidade, assim como o retrabalho (Sayuti et al., 2019). Estas perdas podem ser causadas por mau funcionamento ou configuração do equipamento de produção (Hedman et al., 2016).

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Quantidade processada} - \text{Quantidade de produtos defeituosos}}{\text{Quantidade processada}}$$

Os produtos defeituosos são, por exemplo, desperdícios de início de produção, produtos não conformes ou que necessitam de retrabalho.

Os cálculos destes três fatores contabilizam as perdas dos equipamentos ou linhas de produção, como forma de representarem um sistema, deve então proceder-se ao seguinte cálculo:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade}$$

O valor ideal para o OEE é 85%. Os valores de referência para uma empresa conseguir alcançar este valor são: disponibilidade de 90%, performance de 95% e um valor de qualidade de 99% (Sayuti et al., 2019).

1.7. Conceito de Seis Sigma

O Seis Sigma é uma metodologia que têm por objetivo reduzir a dispersão (variabilidade) dos processos, e consequentemente reduzir os níveis de defeitos do processo produtivo. Foi desenvolvida pela Motorola nos EUA no final dos anos 80, com base nas filosofias de melhoria da qualidade de figuras importantes como Walter Shewhart, W. Edwards Deming, Joseph Juran e Kaoru Ishikawa (Coleman, 2008).

Sigma é o nome da letra grega “σ”, que é usada para representar o desvio padrão. É um parâmetro usado para medir a variação de qualquer processo (Raman & Basavaraj, 2019). “Seis Sigma” refere o seguinte objetivo: estando a média de um processo centrada no valor nominal de uma especificação, a distância entre a média e os limites da especificação deve ser de seis vezes o desvio padrão do processo, como se pode observar

na figura 2 (Coleman, 2008). Nestas condições o processo produz 0.002 *PPM* de defeituosos.

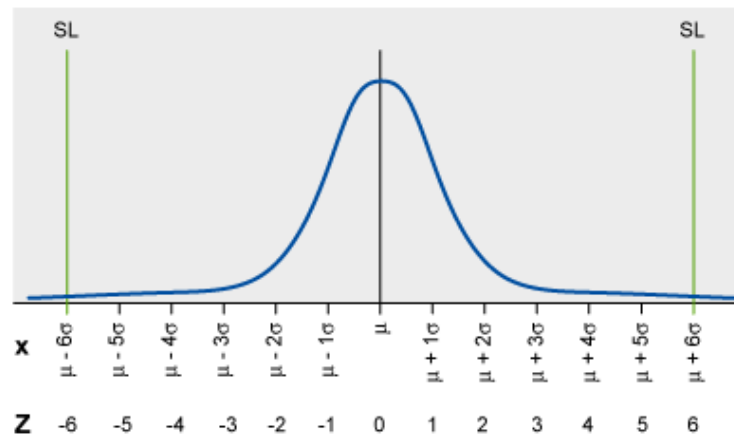


Figura 2 - Distribuição normal padrão mostrando níveis Z e limites de especificação (SL) tal como publicado por Razzaghi, 2016

Para além desse facto, segundo a filosofia Seis Sigma, com o decorrer do tempo o processo irá desregular-se, com a média a afastar-se do valor nominal, para mais ou para menos, por uma distância igual a 1,5 vezes o desvio padrão do processo ($1,5 \times \sigma$), a que se chama 1,5 sigma *shift*. Por exemplo, se o valor nominal for 100 e o desvio padrão for 2, ao fim de algum tempo a média deslocar-se-á para $100 - 1,5 \times 2 = 97$ (ou para 103). Como consequência, se a média estava a uma distância dos limites da especificação de 6 vezes o desvio padrão, após o sigma *Shift* estará a uma distância de 4,5 vezes o desvio padrão e produzirá 3,4 unidades defeituosas por milhão de unidades produzidas (3.4 *PPM*) (Baía, 2013).

Como se pode observar na figura 3, as linhas vermelhas mostram a deslocação de 1,5 sigma para a direita. O limite de especificação à direita está a 4,5 sigma da média, com uma taxa de defeitos de 3,4 *PPM* e o limite de especificação à esquerda está a 7,5 sigma da média, com uma taxa de defeitos de 0 *PPM*, i.e., o desempenho do processo é de 3,4 *PPM*. O mesmo se aplica ao caso da deslocação 1,5 sigma para a esquerda. Deste modo, um processo Seis Sigma é, na teoria, 4,5 sigma a longo prazo (Razzaghi, 2016).

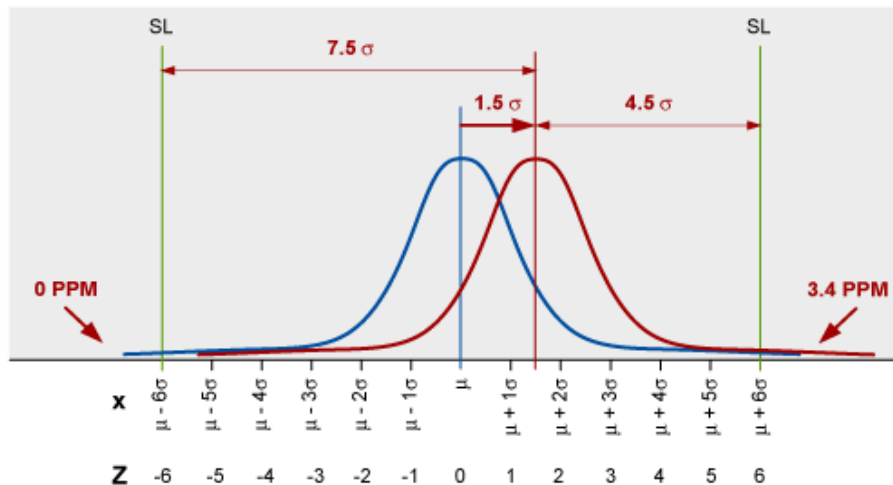


Figura 3 - Desvio do processo de 1,5 sigma e taxa de defeitos correspondente ao nível 4,5 sigma (Razzaghi, 2016)

O valor 1,5 sigma *shift* revela o que acontecerá ao processo no longo prazo, contudo, o mais correto é observar o processo ao longo do prazo para perceber o que é típico do processo em questão (Alves, 2017).

1.8. Métricas Seis Sigma

Qualquer processo é analisado em relação a uma especificação, que se caracteriza por um valor nominal (VN) e por uma tolerância ou por um erro admissível (EA), podendo a especificação ser expressa de forma análoga a um processo, i.e., com limites inferior e superior dados por

$$LIE = VN - EA \text{ e } LSE = VN + EA.$$

Neste sentido a amplitude (AE) ou tolerância de uma especificação é dada por (Alves, 2017)

$$LSE - LIE = 2 \times EA.$$

Os processos caracterizam-se pela média (μ) e desvio padrão (σ) da variável de interesse. A média é o valor mais representativo e indica o que o processo faz em termos médios e deve ser o mais próxima possível do valor nominal, enquanto que o desvio padrão representa a dispersão (ou precisão) do processo (González et al., 2018). Considera-se que a quase totalidade das unidades produzidas (mais exatamente 99.73%) se situa entre os limites inferior e superior do processo

$$LIP = \mu - 3\sigma \quad \text{e} \quad LSP = \mu + 3\sigma.$$

A amplitude de um processo é dada por

$$(\mu + 3\sigma) - (\mu - 3\sigma) = 6\sigma$$

Uma questão importante diz respeito ao cálculo do desvio padrão do processo (Alves, 2019c):

- Se for calculado a partir do desvio padrão de várias pequenas amostras retiradas ao longo do tempo, ou do desvio padrão de uma amostra única, grande, retirada do processo num momento determinado, reflete o que o processo faz no seu melhor, ou no curto prazo, chamando-se desvio padrão comum (σ_{comum})
- Se for calculado como uma amostra única composta por um conjunto grande de unidades retiradas ao longo do tempo, incluirá a variabilidade devida a causas comuns e especiais, ou o que o processo fará no longo prazo, denominando-se desvio padrão global (σ_{global}).

Para comparar o processo com a especificação existem várias métricas:

1.8.1. Capacidade do processo (C_p)

A capacidade do processo é uma medida de desempenho que compara a especificação para o processo com os resultados do processo (Pable et al., 2010) e quanto maior o índice, maior a probabilidade de o processo estar dentro das especificações (Branco, 2008).

A capacidade do processo é a comparação da amplitude de especificação com a amplitude do processo, é analisada em relação ao desvio padrão comum e mostra o que o processo é capaz de realizar se se conseguirem remover as causas especiais de variação, ou seja, reflete o melhor do processo antes de qualquer outra intervenção (Alves, 2019c).

$$C_p = \frac{VoC}{VoP} = \frac{\text{amplitude da especificação}}{\text{amplitude do processo}} = \frac{LSE - LIE}{LSP - LIP} = \frac{2EA}{6\sigma_{comum}}$$

Classicamente, considera-se que uma capacidade do processo mínima de 1,33 é necessária para trabalhar respeitando as especificações.

Quanto maior o desvio padrão do processo, maior a variação no processo, então à medida que a variação diminui, o sigma (desvio padrão) diminui e a capacidade sigma do processo aumenta, como se pode observar na figura 4 (Kumar, 2017).

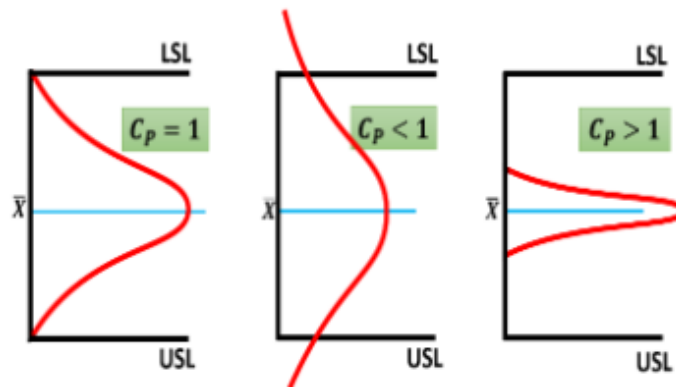


Figura 4 - Variação de um processo em função do desvio padrão.

(Fonte: Solanki & Desai, 2017)

Esta métrica é uma boa métrica se a média do processo estiver centrada com o valor nominal da especificação, mas se tal não acontecer, pode induzir conclusões erradas. Por essa razão, existe uma outra métrica importante, o Cpk , baseado em duas outras métricas: o Cpi (que mede a proximidade de μ ao LIE) e Cps (que mede a proximidade de μ ao LSE): (Alves, 2019)

$$Cpi = \frac{LIE - \mu}{3 \times \sigma_c} \quad Cps = \frac{LSE - \mu}{3 \times \sigma_c} \quad Cpk = \begin{cases} Cps & \text{se } |Cps| \leq |Cpi| \\ Cpi & \text{se } |Cps| > |Cpi| \end{cases}$$

O valor de Cpi é sempre negativo e o Cps é sempre positivo. O Cpk é o valor que realmente importa e corresponde ao valor do Cpi ou do Cps , àquele que for menor em termos absolutos. Se $|Cpi| = |Cps|$, tal significa que a média do processo está centrada no valor nominal da especificação e, nesse caso, verificar-se-á que o $Cpk = Cp$. Se $|Cpi| < |Cps|$, então a média do processo é inferior ao valor nominal da especificação, podendo produzir mais defeituosos por defeito. Se $|Cpi| > |Cps|$, então a média do processo é superior ao valor nominal, podendo produzir mais defeituosos por excesso (Alves, 2019).

Assim, as métricas fundamentais são duas: o Cp que indica sobre a capacidade de o processo respeitar a especificação, e o Cpk que indica sobre eventuais desajustamentos entre a média do processo (μ) e o valor nominal da especificação (VN) e consequente necessidade de ajustamento do processo. Na literatura clássica sobre controlo de processos, num processo corretamente calibrado, a funcionar em termos ideais, devem verificar-se as seguintes duas condições: (Alves, 2019)

$$Cp \geq 1 \quad \text{e} \quad |Cpk| = Cp$$

1.8.2. Performance do processo (Pp)

A performance do processo (Pp) não é mais do que a capacidade do processo calculada com o desvio padrão global, refletindo o que o processo está de facto a fazer, ou que fará no longo prazo:

$$Pp = \frac{\text{amplitude da especificação}}{\text{amplitude do processo (global)}} = \frac{LSE - LIE}{LSP - LIP} = \frac{2EA}{6 \sigma_{global}}$$

As equações usadas para os cálculos das métricas Cpi , Cps e Cpk podem ser também usadas para calcular as métricas Ppi , Pps e Ppk , bastando para tal substituir o desvio padrão comum pelo desvio padrão global do processo. Consequentemente, estas novas métricas em valor absoluto são maiores do que as métricas relativas à capacidade enquanto houver causas especiais de variação. O primeiro grande objetivo antes de iniciar um projeto Seis Sigma consiste em remover as causas especiais de variação, i.e., até que as métricas Cp e Pp se igualem (Alves, 2017).

1.8.3. Desempenho do processo (PPM)

O desempenho do processo diz respeito ao número de defeituosos estimados, podendo ser calculados em relação ao desvio padrão comum ou ao desvio padrão global. As métricas são os $PPMi$ (partes por milhão que se estima sejam produzidas com valores inferiores ao LIE), os $PPMs$ (partes por milhão que se estima sejam produzidas com valores superiores ao LSE) e os $PPMt$ (partes por milhão totais). Estas métricas calculam-se através da distribuição normal, quer por software, quer pela tabela da distribuição normal para seis sigma (Alves, 2017).

Em relação com a capacidade do processo, ou no curto prazo:

$$z_{LIE} = \frac{LIE - \mu}{\sigma_c} \Rightarrow PPM_i = P(-\infty < z < z_{LIE}) \times 1.000.000$$

$$z_{LSE} = \frac{LSE - \mu}{\sigma_c} \Rightarrow PPM_s = (1 - P(-\infty < z < z_{LSE})) \times 1.000.000$$

$$PPM_t \text{ totais} = PPM_i + PPM_s$$

Em relação com a performance do processo, ou no longo prazo:

$$z_{LIE} = \frac{LIE - \mu}{\sigma_g} \Rightarrow PPM_i = P(-\infty < z < z_{LIE}) \times 1.000.000$$

$$z_{LSE} = \frac{LSE - \mu}{\sigma_g} \Rightarrow PPM_s = (1 - P(-\infty < z < z_{LSE})) \times 1.000.000$$

$$PPM_t = PPM_i + PPM_s$$

1.8.4. Dispersão (D)

A dispersão do processo tem como objetivo avaliar o processo em termos teóricos, permitindo comparar a dispersão do processo em relação com a especificação, ou seja, a dispersão compara a largura da curva normal com a largura da especificação, em percentagem. Trata-se do inverso da capacidade:

$$D_{cp} = 100 \times \frac{3 \times \sigma_{comum}}{EA} \quad D_{lp} = 100 \times \frac{3 \times \sigma_{global}}{EA}$$

Quando um processo tem a média centrada no valor nominal e tem amplitude igual à amplitude da especificação, diz-se que o processo tem dispersão 100%, porque está perfeitamente ajustado à especificação (os limites do processo e da especificação sobrepõem-se). Para um processo com $Cp \geq 1.33$ a dispersão deve ser, no máximo, 75% da amplitude da especificação, i.e., a dispersão deve ser $D \leq 75\%$. Claro que, conforme se use o desvio padrão comum ou global, assim se obterão dois valores para a dispersão, um que reflete o que o processo pode fazer no seu melhor (no curto prazo), o outro aquilo que o processo faz no momento.

Um processo com dispersão superior a 100% claramente não consegue cumprir com a especificação (Alves, 2019c).

1.8.5. Nível sigma

O nível sigma, também representado por Z , Z_{bench} ou Z_{σ} , (o termo “*bench*” deriva de *benchmarking*, e significa “comparação”, pelo que Z_{bench} será adotado de forma genérica). Tem por objetivo proceder à comparação do desempenho de diferentes processos, quer os indicadores se refiram a variáveis contínuas, a números de defeitos ou números de unidades defeituosas (Costa et al., 2019).

Tal como com as métricas anteriores, o nível sigma tanto pode ser calculado com o desvio padrão comum como o global, daí resultando o Z_{cp} ou Z_{lp} . Pode ser calculado através da distribuição inversa normal, ou a partir do número de defeituosos calcular o valor z através da tabela seis sigma.

$$Z_{cp} = \text{valor de } Z_{bench} \text{ correspondente a } PPM_t \text{ (calculados com } \sigma_{comum})$$

$$Z_{lp} = \text{valor de } Z_{bench} \text{ correspondente a } PPM_t \text{ (calculados com } \sigma_{global})$$

O nível sigma tanto pode servir para comparar processos diferentes, como pode ser usado para comparar os resultados obtidos após um projeto Seis Sigma, como comparação do desempenho antes do projeto e o desempenho posterior.

O nível sigma fornece uma noção da capacidade do processo em cumprir os requisitos numa perspetiva de probabilidade de defeitos por milhão, como se pode observar na tabela 2. Quando um processo atinge o nível seis sigma, significa que, teoricamente, no longo prazo, existe uma probabilidade de ocorrência de 3.4 defeitos por milhão, o que corresponde a uma percentagem de produtos conformes de 99.997% (Branco, 2008).

Tabela 2 - Relação entre nível sigma, PPM e percentagem de produtos conformes do processo.

(Adaptado de: Branco, 2008)

Nível sigma	Nível sigma após 1.5 σ shift	PPM	Percentagem de produtos conformes (%)
6	4.5	3.4	99.997%
5	3.5	230	99.97%
4	2.5	6210	99.37%
3	1.5	66800	93.32%
2	0.5	308000	69.2%

Em relação às tabelas existe uma confusão sobre o curto e o longo prazo, existindo tabelas denominadas 6 *sigma*, mas que não o são na verdade, uma vez que apresentam os cálculos para um 1,5 *sigma shift*. O software e as tabelas da distribuição normal são os corretos (Alves, 2019c).

1.9. Análise das métricas

Depois do processo estabilizado, as métricas seis sigma podem servir para analisar o processo e a sua evolução ao longo do tempo (Alves, 2019c):

- Se ao longo do tempo se assistir a um desfasamento entre o C_p e o C_{p_k} , tal significa que a média do processo se está a afastar do valor nominal da especificação;
- Uma diminuição do P_p em relação ao C_p significa que o desvio padrão do processo está a aumentar, devendo tentar-se verificar se esse afastamento se deve a causas comuns ou a causas especiais;
- Uma diminuição do nível sigma de curto prazo significará um aumento da dispersão comum (descalibração do processo);
- Uma diminuição do nível sigma de longo prazo mantendo-se o nível sigma comum, significará que há novas causas especiais de variação a afetar o processo.

Assim, é importante manter o cálculo de todas as métricas mesmo depois do processo estabilizado, para seguir a sua evolução.

1.10. Metodologia DMAIC

O Seis Sigma segue uma abordagem sistemática denominada DMAIC, do inglês *define, measure, analyse, improve* e *control*. Trata-se de uma metodologia para abordar projetos de melhoria e resolução de problemas dentro das organizações, desde a fase de definição do projeto, até ao controlo das melhorias implementadas (Raman & Basavaraj, 2019).

As cinco etapas e seus objetivos são:

Definir - O objetivo nesta etapa é identificar a oportunidade e objetivo do projeto. Nesta etapa recomenda-se a utilização da ficha de projeto (*Project Charter*), documento que contém uma descrição e objetivo do projeto (Montgomery, 2009). Também são úteis algumas ferramentas como diagrama de causa e efeito, fluxograma e SIPOC (*supplier, inputs, process, outputs e customers*) (Chang et al., 2012; Coleman, 2008).

Medir - O objetivo nesta etapa é monitorizar o processo que envolve a recolha de dados para entender o desempenho atual. As principais atividades que ocorrem nesta fase

incluem a recolha de dados e podem ser utilizadas as ferramentas como o diagrama de Pareto, folha de verificação, histograma e cartas de controlo (Drake et al., 2008; Rosa et al., 2014).

Analisar – Na etapa de análise o objetivo é determinar as relações de causa e efeito no processo e entender as diferentes fontes de variabilidade, i.e., determinar as possíveis causas dos defeitos ou problemas de qualidade que motivaram o projeto (Montgomery, 2009). Nesta etapa são úteis algumas ferramentas como diagrama de causa e efeito, diagrama de dispersão, diagrama de Pareto e histogramas (Drake et al., 2008). É também a etapa onde se devem remover todas as causas especiais de variabilidade dos processos e determinar a situação de referência (o processo e as suas causas comuns de variação).

Melhorar - A etapa de melhoria está associada a uma solução que seja capaz de diminuir a dispersão dos processos, nomeadamente tentar atingir o nível seis sigma (correspondente a um $Cp = 2$, ou um $\sigma_{comum} = EA/6$, ou uma dispersão = 50%). A análise de modo e efeitos de falha (FMEA) é uma ferramenta usada nesta etapa para identificar falhas e os seus efeitos. Esta análise prioriza as falhas atribuindo-lhes um número de risco obtido a partir de três componentes: gravidade, probabilidade de ocorrência e probabilidade de deteção. Deste modo, uma empresa pode criar um plano de ação tendente a melhorar as etapas com maiores riscos (Drake et al., 2008). As principais atividades incluem também a padronização, a determinação da nova capacidade do processo, a verificação de benefícios, custos e lucros.

Controlar – Esta etapa inclui o controlo do processo com as suas novas características e tem como objetivo a monitorização do desempenho ao longo do tempo. As cartas de controlo da qualidade são as principais ferramentas a ser utilizadas (Drake et al., 2008).

2. ENQUADRAMENTO

O projeto de mestrado foi realizado durante seis meses na empresa Meltino - Lanhoso Torrefação de Cafés, Lda. A Meltino Cafés surge da concretização da paixão dos dois sócios fundadores, na Póvoa de Lanhoso, em 1995, por um lado, suportada pela experiência no setor da importação de café verde, por outro, pela vasta experiência na torrefação. Em 2007, reconhecendo a importância da modernização e da qualificação no incremento da competitividade, é inaugurada a nova unidade industrial (figura 5) na zona de Prado, Vila Verde em Braga, na qual a torrefação deixa de ser a lenha e passa a ser a gás (Meltino, 2018).



Figura 5 - Sede Meltino em Braga

(Fonte: Meltino, 2018)

É uma das primeiras empresas do setor alimentar, a obter, em 14/07/2008, o Certificado de Conformidade dos Sistemas de Gestão da Qualidade, Ambiental, da Saúde e Segurança no Trabalho e da Segurança Alimentar. Um compromisso que assume e pratica diariamente, cumprindo os requisitos decorrentes das normas *NP EN ISO 9001* (Qualidade), *NP EN 14001* (Ambiente), *OSHAS 18001/NP 4397* (Segurança e Saúde do Trabalho) e *NP EN ISO 22000* (Segurança Alimentar), com o objetivo de melhorar continuamente a competitividade da organização e corresponder às expectativas dos consumidores (Meltino, 2018).

A empresa também se dedica ao empacotamento de alguns produtos pré-embalados, tais como, açúcar, chá, infusões, a fim de proporcionar um serviço mais completo aos clientes. Além do mercado nacional os seus produtos são exportados para Estados Unidos, França e Bélgica.



Figura 6 - Logótipo da marca.

(Fonte: Meltino, 2018)

Com uma produção por hora de 720 kg e anual de 1000000 kg, a Meltino para além de comercializar para diferentes marcas, apresenta vários lotes comerciais: Ouro, Maximum, Hotelaria, Expresso, Descafeinado, Biológico e 90/10, um lote de café torrefacto.

Com clientes cada vez mais exigentes no que diz respeito à qualidade, a empresa tem como objetivo implementar a melhoria de processos. Assim, é essencial o estudo dos processos e a garantia de que os produtos vão obedecendo, ao longo do tempo, às especificações.

2.1. Enquadramento legal

As condições gerais de comercialização dos produtos pré-embalados e regras relativas às quantidades nominais são estabelecidas pelo Decreto-Lei 199/2008 e o controlo metrológico é estabelecido pela Portaria n.º 1198/91.

O Decreto-Lei 199/2008 define “produto pré-embalado” como um produto que chega ao consumidor já acondicionado numa embalagem e quantidade nominal (QN) como o volume ou a massa que todas as embalagens devem conter sendo o conteúdo efetivo a quantidade de produto que contém realmente. Esta quantidade nominal refere-se nas especificações como valor nominal (VN). Porém, como as máquinas operam de acordo com uma distribuição normal, os conteúdos efetivos vão variar de acordo com uma distribuição normal, com parâmetros μ e σ , que representam a média embalada e a dispersão da máquina ou processo, respetivamente (Alves, 2016c).

A Portaria 1198/91 determina os procedimentos que devem ser adotados pelas entidades inspecionadoras ou verificadoras na colheita das amostras e na verificação individual e da média dos conteúdos efetivos. A lei não obriga que todas as embalagens contenham um conteúdo efetivo exatamente igual à QN porque tal é impossível. Antes pelo contrário, admite que as máquinas operam de acordo com as leis de uma distribuição normal. Mas é necessária a existência de algumas regras, assim, esta portaria tem como objetivos, para além da proteção dos consumidores ao colocar limites mínimos aos conteúdos efetivos, proteger o industrial, ao aceitar e regulamentar a colocação de uma quantidade nominal nas embalagens, sabendo que essa quantidade exata não é possível e para garantir uma concorrência leal entre empresas (Alves, 2016).

A portaria prevê a realização de dois testes: a verificação da média dos conteúdos efetivos dos pré-embalados (verificar que a quantidade média embalada não é inferior à quantidade nominal, i.e., $\mu \geq QN$) e a verificação do conteúdo efetivo (verificar que não existem embalagens com conteúdos demasiado baixos, i.e., $x \geq QN - EA$, onde x é o conteúdo de qualquer embalagem). O primeiro teste é um teste *t de student* à conformidade do valor nominal, e o segundo teste assenta em planos de amostragem aplicados à pesquisa de unidades defeituosas (Alves, 2016).

A portaria define os erros admissíveis por defeito (EAD ou EA) que variam em função da quantidade nominal (tabela 3).

Tabela 3 - Erros admitidos por defeito nos conteúdos efetivos

(Fonte: Portaria 1198/91)

Quantidade nominal (g ou ml)	Erros admissíveis por defeito	
	Em percentagem da <i>QN</i>	Em massa ou volume (g ou ml)
Até 50	9.0	-
De 50 a 100	-	4.5
De 100 a 200	4.5	-
De 200 a 300	-	9.0
De 300 a 500	3.0	-
De 500 a 1000	-	15.0
De 1000 a 10000	1.5	-
De 10000 a 15000	-	150.0
Superior a 15000	1.0	-

As verificações por parte dos inspetores são feitas por amostragem, para analisar os conteúdos efetivos recolhem uma amostra com um determinado número de embalagens. Os planos de amostragem podem ser simples ou duplos e o controlo pode ser não destrutivo ou destrutivo (quando é necessário violar a embalagem para determinar o seu conteúdo efetivo). No caso de ser necessário o controlo destrutivo, o inspetor está limitado à utilização de uma amostra de 20 embalagens. Quando o controlo é não destrutivo o inspetor irá usar planos de amostragem com amostras maiores, sendo a escolha do plano de amostragem dependente do efetivo do lote, que é dado pela capacidade horária da máquina ou processo, ou pelas existências em armazém.

Assim, para cumprir a legislação, o embalador deve ter em atenção que o conteúdo efetivo de uma embalagem não deve ser inferior, em média, à quantidade nominal nela marcada e que as embalagens não devem ter conteúdo inferior à média menos o erro admissível por defeito (Portaria 1198/91). Além disso, nenhuma embalagem pode ter um erro, por defeito, superior ao dobro do erro admissível, e o embalador deve também realizar medições e manter os registos respetivos por períodos de tempo dependentes do prazo de validade dos produtos (Dec-Lei 199/2008).

3. MÉTODOS

Este projeto tem como principal objetivo a medição e análise dos processos de embalagem para propor melhorias. Primeiramente, realizou-se o estudo do processo produtivo de modo a compreender principalmente os processos de embalagem. Seguidamente procedeu-se à recolha de dados de acordo com o planeamento normal da produção para avaliar o desempenho de cada embaladora com auxílio do indicador OEE e, paralelamente, procedeu-se ao estudo dos principais motivos de paragem de cada embaladora. Estes dados foram agrupados, analisados e interpretados com recurso ao Excel. Na produção há cinco linhas de embalagem, porém, apenas foram estudadas as linhas 1, 2, 4 e 5 devido ao pouco uso da linha 3. Por fim, procedeu-se à análise dos processos e da sua estabilidade com recurso a funções específicas construídas no software R e a cartas de controlo da qualidade.

3.1. OEE - Eficiência global do equipamento

Para proceder à recolha de dados para esta análise foi feito o levantamento das horas de início e fim de cada lote, i.e., a duração da produção, desde o momento em que a máquina é ligada até ser desligada. Foram registados os tempos de paragens, em minutos, como: intervalos, troca de bobina, aquecimento, limpeza e avarias da máquina, falta de matéria-prima ou de embalagem. Estes dados são fundamentais para o cálculo do indicador "disponibilidade" que representa a percentagem de tempo que as linhas estiveram a trabalhar em contínuo, sem interrupções. Este indicador reflete o tempo de operação em comparação com o tempo planeado de produção.

O tempo planeado corresponde à diferença entre o tempo de duração do turno e o tempo de paragem programado (que inclui intervalos, reuniões, limpeza) e o tempo efetivo de operação à diferença entre o tempo planeado e o tempo de paragem não programado.

O indicador “performance” reflete a comparação entre o desempenho real do equipamento com o desempenho ideal. Para o cálculo deste indicador, o desempenho ideal de produção das embaladoras foi presumido através de medições ao ciclo real do desempenho quando o processo estava a produzir unidades de forma contínua, sem paragens ou ajustes, e o desempenho real é dado pela divisão entre quantidade produzida e o tempo de operação.

Por fim, o indicador “qualidade” é determinado pela comparação entre a quantidade produzida sem defeito e a quantidade total produzida. São considerados produtos com

defeito os que requerem retrabalho, os que não cumprem os padrões definidos e os desperdícios de início de produção.

O cálculo do OEE é baseado nestes três fatores, disponibilidade, performance e qualidade, sendo o resultado apresentado num valor percentual:

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade$$

3.2. Principais motivos de paragens

Paralelamente à recolha dos dados para o cálculo do indicador *OEE* foram registadas todas as paragens e os motivos, dados que foram organizados num diagrama de Pareto com o objetivo de identificar os problemas mais importantes a focar para a melhoria de cada processo de embalamento.

3.3. Controlo dos processos

Para avaliar o trabalho desenvolvido pelas doseadoras das máquinas de embalamento apenas para a linha 2 foi realizado um controlo não destrutivo ao longo do tempo de produção, recolhendo uma amostra de $N=20$ embalagens de tamanho $n=5$ nos intervalos definidos pelo controlo da qualidade interno da empresa e para o estudo das linhas 1, 4 e 5 recorreu-se aos dados históricos de pesagens individuais. Dependendo dos dados foram selecionadas as cartas de controlo e analisadas de modo a verificar a estabilidade e capacidade do processo.

3.3.1. Tratamento estatístico

Geralmente para projetos seis sigma utiliza-se um software comercial, Minitab (Minitab, 2019) que, sendo um software estatístico, foi desenhado para ser fácil de utilizar no âmbito destes projetos incluindo rotinas para o cálculo das principais métricas. Tem a vantagem de ser um software comercial, muito experimentado, e por isso muito desenvolvido. Todavia é também bastante caro.

Por essa razão, para este trabalho construiu-se uma função em linguagem R (figura 7), denominada *SS.Normais* (Alves, 2019d) que se encontra em anexo (A.2). A vantagem desta função é ser de utilização muito simples e muito completa nas suas saídas, por ter sido especificamente construída para a análise de processos normais. A linguagem R está disponível em sinal livre (R Core Team, 2019) pelo que não envolve



Figura 7 - Logótipo do software R.

custos. A desvantagem é ser necessário algum conhecimento da linguagem R, mas não é menos verdade que o Minitab, tal como qualquer outro software, também necessita de aprendizagem para que possa ser utilizado.

A função utiliza apenas cinco argumentos: *VN* (valor nominal) e *EA* (erro admissível) que são referentes à especificação; os argumentos *file* (nome do ficheiro “.txt” com os dados) e *amostras* (o tamanho das amostras usadas relativos à forma como os dados devem ser interpretados). Se se pretender analisar as saídas que permitem verificar os dados lidos pela função e os testes à normalidade dos dados e aos desvios padrão, deve-se usar o quinto argumento na forma «*Tabelas=TRUE*». Caso contrário deve-se usar outro qualquer valor para o argumento «*Tabelas*», simplificando as saídas da função. Na sua versão completa, as instruções (Alves, 2017, 2019b) são:

SS.Normais(VN,EA,file,amostras,Tabelas=TRUE)

A função divide o monitor em duas partes, esquerda e direita: do lado esquerdo, são apresentados os dados observados e as estimativas de capacidade, performance e desempenho, juntamente com dados estatísticos e do lado direito aparecem dois gráficos, sendo um com os valores de dados ao longo do tempo (a verde desenham-se as linhas correspondentes ao *VN* e aos valores da especificação) e o outro um histograma dos dados observados e as estimativas do comportamento do processo como duas curvas normais (a curva azul, que representa o processo apenas com causas comuns de variação e a curva amarela, que representa o processo a longo prazo, incluindo as causas especiais de variação observadas) e as áreas sombreadas sob as curvas normais que mostram a fração de unidades defeituosas. Um exemplo de saída da função, com dados fictícios, está representado na figura 8, na qual os dados do lado esquerdo mostram um processo, de *VN* de 500, *LIE* de 485 e *LSC* de 515. Este processo é incapaz de cumprir com a especificação, uma vez que, a sua capacidade (*Cp*), de valor 0,90, é inferior a 1,33 e está ligeiramente deslocado para a esquerda, dado que, o *Cpk* é negativo. O nível sigma ronda os 2 refletindo um processo pouco preciso e a dispersão, com valores superiores a 100%, mostra que o processo não consegue cumprir com a especificação. Do lado direito no gráfico da variação temporal nota-se que, no início da produção, o conteúdo embalado é inferior ao nominal e observa-se uma subida repentina, que é uma causa especial de variação. No histograma vê-se a curva normal azul (curto prazo) é mais alta e estreita e

do que a curva laranja (longo prazo) o que só acontece se o desvio padrão comum for menor que o desvio padrão global.

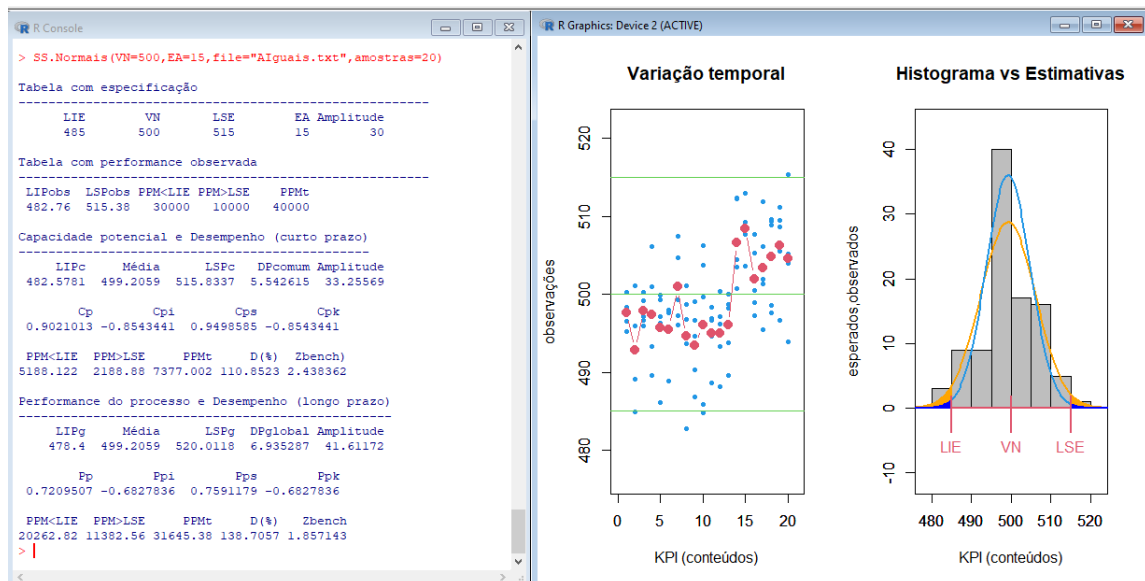


Figura 8 - Exemplo de dados de saída da função SS.Normais no software R.

Com os dados do teste F à igualdade dos desvios padrão comum e global é apresentado o *p-value* e caso esse valor seja menor do que 0.05 rejeita-se a hipótese de que os desvios padrão são iguais, significa que há razões para crer que existam diferenças entre as duas estimativas de desvio padrão (Alves, 2019).

3.3.2. Cartas de controlo da qualidade

A interpretação das cartas de controlo permite detetar a tempo alterações significativas à normalidade do processo e atuar ainda antes de se produzirem peças defeituosas. Há dois parâmetros utilizados para controlo: a média e a dispersão do processo (dada pelo desvio padrão ou amplitude) (Pires, 2007). A teoria sobre as cartas de controlo da qualidade foi aprofundada no ponto 1.4.7 da introdução.

As cartas de controlo foram construídas com os dados das próprias máquinas, i.e., baseadas no desvio padrão calculado para cada máquina, sendo as linhas centrais para as cartas das médias dadas pelos valores nominais. As constantes usadas para o cálculo dos limites superior e inferior das cartas correspondem a intervalos de confiança de 99,73% (isto é, 3 sigma).

A escolha para as cartas de controlo depende, em geral, dos objetivos pretendidos, da dimensão da amostra e da informação existente (Branco, 2008). Como os dados históricos

das linhas 1, 4 e 5 são amostras de uma só observação ($n=1$) utilizaram-se cartas de controlo para valores individuais (I) e amplitudes móveis (MR).

Os cálculos dos limites de controlo para a carta de controlo de valores individuais são dados por:

$$LSC = VN + E_2 \times \overline{MR}$$

$$LSC = VN + 2.66 \times \overline{MR}$$

$$LMC = VN$$

$$LIC = VN - E_2 \times \overline{MR}$$

$$LIC = VN - 2.66 \times \overline{MR}$$

Para $n=2$, $E_2=2.66$.

E para a carta de controlo de amplitudes móveis:

$$LSC = \overline{MR} \times D_4$$

$$LSC = \overline{MR} \times 3.267$$

$$LMC = \overline{MR}$$

$$LIC = \overline{MR} \times D_3$$

$$LIC = \overline{MR} \times 0$$

Para $n=2$, $D_3=0$ e $D_4=3.267$.

Para a linha 2 foi possível proceder a um controlo com amostras de $n=5$. Assim, como são amostras de tamanho igual, utilizaram-se cartas de controlo da média ($\bar{x}$) e do desvio padrão (s).

Os cálculos dos limites de controlo para a carta de controlo da média são dados por:

$$LSC = VN + A_3 \times \bar{s}$$

$$LSC = VN + 1.43 \times \bar{s}$$

$$LMC = VN$$

$$LIC = VN - A_3 \times \bar{s}$$

$$LIC = VN - 1.43 \times \bar{s}$$

Para $n=5$, $A_3=1.43$.

Para a carta de controlo do desvio padrão:

$$LSC = B_4 \times \bar{s}$$

$$LSC = 2,09 \times \bar{s}$$

$$LMC = \bar{s}$$

$$LIC = B_3 \times \bar{s}$$

$$LIC = 0 \times \bar{s}$$

Para $n=5$, $B_3=0$ e $B_4=2.09$.

4. RESULTADOS

4.1. Análise do processo produtivo

A Lanhoso Torrefação de Cafés, Lda. dedica-se à produção e embalamento de café e descafeinado torrado, desde a receção da matéria-prima até à sua distribuição. A fábrica divide-se em três pisos: armazém, produção e escritórios, sendo o armazém no piso inferior e os escritórios no superior.

As duas principais variedades de café existentes são arábica e robusta. Sendo o café arábica caracterizado por apresentar um sabor mais suave e aromático, já o robusta apresenta um café mais denso, forte e com maior teor de cafeína (Stella, 2000).

O café é originário de diversos países produtores, sendo os principais: Brasil, Uganda, Colômbia, Vietname, Honduras e menos frequente Índia, Camarões e Angola. Chega a Portugal por via marítima e é transportado por camiões para a empresa em sacos de serapilheira, com peso aproximado de 60 kg.

A inspeção na receção do produto é efetuada aquando da sua chegada pelo auxiliar de armazém. Essa inspeção baseia-se num plano de inspeção à receção para o qual estão definidos todos os controlos a realizar: a quantidade a analisar, o procedimento a aplicar, os critérios de aceitação da matéria-prima, os registos a preencher e, por fim, as ações a tomar caso haja algum desvio. No final, os registos são arquivados e no caso dos registos das não conformidades são entregues à diretora da qualidade.

Os sacos são descarregados através do empilhador que transporta os sacos de café e acondicionam-se em paletes de 20 sacos, devidamente identificados com origem, código do lote, data de entrada e peso líquido. É armazenado de acordo com o tipo de café e país de origem e armazenado a temperaturas e humidade controladas. Para controlo, cada

fornecedor declara o certificado fitossanitário e as análises laboratoriais das características do produto.

No caso do material de acondicionamento, aquando da primeira encomenda é solicitado o envio das respetivas fichas técnicas e declaração da adequabilidade ao contacto alimentar. É armazenado por tipo de material, identificando o lote com número de documento e nome do fornecedor.

Ainda no armazém o abastecimento de café e descafeinado verde é feito através de uma grelha existente no chão, passa por uma máquina de limpeza (figura 9) onde retém numa primeira fase os corpos estranhos através de um crivo com diferentes dimensões de furos e numa segunda fase são retirados os corpos metálicos através de um íman. De seguida é colocado nos silos do armazém por origem, onde permanece armazenado até ser emitida a ordem de produção para a sua subida por aspiração.



Figura 9 - Máquina de limpeza e armazenamento do café e descafeinado verde.

O processo da torra do café e descafeinado verde ocorre no torrador (figura 10) por etapas: receção, torra e arrefecimento. As operações são automáticas, porém, requerem ser ativadas e controladas pelo operador. Primeiramente é necessário ligar o queimador para fazer a limpeza do ciclone, operação que demora cerca de vinte minutos. Através do painel de controlo verifica-se a capacidade dos silos de café verde por origem, criam-se

as receitas, indicam-se os números de ciclos de torra, assim como, o silo de destino. O torrador funciona a gás e tem como missão secar e torrar todas as partículas de café. No seu interior existem cilindros que estão em constante movimento, que mantêm a torra uniforme e impedem que os grãos de café se colem ou queimem. Os grãos de café perdem humidade tornando o grão mais leve e maior e com o aumento da temperatura há libertação do óleo do café que produz o aroma e o sabor típico do café. Durante a torra de café são controlados os parâmetros de temperatura e humidade e é recolhida uma amostra para verificar se há necessidade de alterar as condições de funcionamento, como potência do torrador, temperatura ou duração da torra. A temperatura da torra varia entre 190 a 235°C conforme a origem e o tempo entre 17 a 25 minutos.



Figura 10 - Sistema de torra: receção, torra e arrefecimento do café e descafeinado.

O café ou descafeinado já torrado é automaticamente descarregado num arrefecedor perfurado que se encontra em constante movimento circular. Na fase de arrefecimento é também recolhida uma amostra de café tanto para inspeção visual como para prova. O tempo de arrefecimento é de 3 minutos. Na saída do arrefecedor, o café é conduzido à fase seguinte por aspiração. O despedrador e um conjunto de ímans permitem a remoção de metais, pequenas pedras ou corpos estranhos que o café ainda possa conter devido a diferenças de densidade (peso inferior ao café). De seguida, é aspirado para a balança

onde é pesado para controlar as perdas e armazenado no respetivo silo por origem, onde deve repousar, pelo menos, 24 horas até ser embalado.

O passo seguinte, a preparação dos lotes, ocorre por doseamento automático de acordo com a receita definida. De seguida, o lote sobe pelo tapete transportador até ao misturador, onde ocorre a mistura final durante 180 segundos, nesta etapa para cada novo lote é efetuada a prova sensorial.

No caso do embalamento em grão e monodoses de descafeinado, o lote é conduzido por aspiração para outros silos e a fase de embalamento primário procede-se em filme triplex.

Nas linhas 1 e 2 procede-se ao embalamento do café ou descafeinado em grão em embalagens de 1 kg (figura 11) e o controlo de pesagens é efetuado nas 4 primeiras embalagens, depois de 100 em 100.



Figura 11 - Embaladoras de grão das linhas 1 (direita) e 2 (esquerda).

Para embalar descafeinado em saquetas (linha 3) as operações são de doseamento automático por aspiração e queda. Esta operação visa ensacar automaticamente descafeinado torrado, porém, no início do processo as operações são manuais. Para controlo faz-se uma pesagem às 5 primeiras embalagens, depois de 500 em 500.

Nas situações em que o produto final se apresenta moído, no caso das monodoses de pastilha e cápsulas, após a constituição dos lotes, este é armazenado num recipiente

próprio de material plástico ou inox, sendo depois aspirado para o moinho. Sempre que o café é moído é realizada uma prova sensorial.

Na linha 4 (figura 12) ocorre o embalamento tanto do café como descafeinado em monodose (pastilha). O grão previamente torrado é aspirado para o moinho, seguindo-se a formação de pastilhas individuais, por doseamento automático. Nesta operação ocorre, também, a aplicação no molde (por prensagem a quente/soldadura) de uma película de papel de filtro, formando assim a pastilha de café. Posteriormente, dá-se o corte da pastilha que será acondicionada (em atmosfera protetora-azoto) num filme, em doses individuais. As operações anteriores descritas decorrem de forma automática, contudo, é necessária a presença de um colaborador junto da máquina, no decorrer da atividade para controlar as operações. O controlo das pesagens é efetuado nas 5 primeiras embalagens, depois de 500 em 500.



**Figura 12 - Embaladora de pastilha
(linha 4).**

No embalamento das cápsulas (linha 5) o grão torrado é aspirado para o moinho e colocado na cápsula por doseamento automático, seguido de selagem a quente com um

filme de papel de alumínio. O controlo das pesagens é efetuado nas 10 primeiras embalagens, na 100, 500, depois de 1000 em 1000.

Tanto na pastilha como na cápsula é inserido azoto para ajudar a conservar os aromas.

Para expedição, as embalagens de café torrado em grão são colocadas em caixas de cartão e no caso das monodoses e cápsulas, após o embalamento em filme triplex, o produto é colocado em embalagens em caixas de cartão e posteriormente, em caixas de cartão canelado. Por fim, procede-se à paletização e armazenamento por tipo de produto e por número de lote.

Os produtos são manuseados e armazenados sob condições que previnam a deterioração e ao mesmo tempo que obedeçam à legislação aplicável. A rotação de stock no armazém é controlada de modo a prevenir a possível deterioração destes e que possa resultar num perigo para a saúde humana. Para tal, efetua a rotação de acordo com a metodologia FEFO (*first expired, first out*).

Os veículos de transporte são construídos de forma a evitar a deterioração física, química e microbiológica dos produtos e facilitam a limpeza destes mesmos. A informação requerida nos registos de transporte são a identidade do produto, o seu número de lote, quantidade, identificação do cliente e a sua morada.

O Sistema de Rastreabilidade e Recolha aplicado na empresa tem como finalidade localizar um produto que tenha levantado alguma suspeita e que possa pôr em causa a saúde do consumidor ou que a sua qualidade esteja seriamente afetada.

Todos os controlos químicos e microbiológicos necessários para garantir a qualidade e segurança dos produtos são efetuados num laboratório externo. Por outro lado, todas as análises sensoriais são realizadas nas instalações, analisando vários parâmetros como cor, degustação, tempo de extração e tempo de permanência do creme.

4.2. OEE

4.2.1. Resultados obtidos

Os dados relativos aos cálculos do indicador OEE mostram-se nas tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora da linha 1.

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Média
Duração do turno (min)	408	93	378	38	75	333	242	262	191	
Tempo de paragem programado	38	45	148	14	3	177	116	87	89	
Tempo de paragem não programado	13	6	32	3	8	35	13	99	38	
Desempenho ideal de produção (unid/min)	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	
Quantidade produzida	2348	403	2136	220	524	1231	1240	803	711	
Quantidade de produtos defeituosos	18	10	14	20	13	25	27	11	10	
Tempo planeado de produção	370	48	230	24	72	156	126	175	102	
Tempo operação	357	42	198	21	64	121	113	76	64	
Disponibilidade	0,96	0,88	0,86	0,88	0,89	0,78	0,90	0,43	0,63	0,80
Performance	0,58	0,85	0,95	0,93	0,72	0,90	0,97	0,93	0,98	0,87
Qualidade	0,99	0,98	0,99	0,91	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98
OEE	0,56	0,72	0,81	0,74	0,63	0,68	0,85	0,40	0,61	0,67

Tabela 5 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora da linha 2.

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Média
Duração do turno (min)	344	281	343	375	524	552	48	281	
Tempo de paragem programado	54	161	5	121	200	173	25	141	
Tempo de paragem não programado	13	41	32	4	88	18	5	61	
Desempenho ideal de produção (unid/min)	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	
Quantidade produzida	2369	851	2601	2591	2240	3040	195	852	
Quantidade de produtos defeituosos	19	147	21	48	220	36	13	147	
Tempo planeado de produção	290	120	338	254	324	379	23	140	
Tempo operação	277	79	306	250	236	361	18	79	
Disponibilidade	0,96	0,66	0,91	0,98	0,73	0,95	0,78	0,56	0,85
Performance	0,78	0,99	0,78	0,95	0,87	0,77	0,99	0,99	0,88
Qualidade	0,99	0,83	0,99	0,98	0,90	0,99	0,93	0,83	0,95
OEE	0,74	0,54	0,70	0,92	0,57	0,73	0,73	0,46	0,70

Tabela 6 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora de pastilha.

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Média
Duração do turno (min)	259	595	150	130	100	507	130	134	446	347	
Tempo de paragem programado	22	114	50	15	29	125	11	5	142	20	
Tempo de paragem não programado	14	6	21	25	11	32	2	20	60	10	
Desempenho ideal de produção (unid/min)	37	35	36	36	36	36	36	36	36	36	
Quantidade produzida	6115	14059	2600	3212	1559	11010	3099	3808	6167	6449	
Quantidade de produtos defeituosos	102	119	307	237	139	152	55	210	344	482	
Tempo planeado de produção	237	481	100	115	71	382	119	129	304	327	
Tempo operação	223	475	79	90	60	350	117	109	244	317	
Disponibilidade	0,94	0,99	0,79	0,78	0,85	0,92	0,98	0,84	0,80	0,97	0,89
Performance	0,74	0,85	0,91	0,99	0,72	0,87	0,74	0,97	0,70	0,57	0,83
Qualidade	0,98	0,99	0,88	0,93	0,91	0,99	0,98	0,94	0,94	0,93	0,95
OEE	0,69	0,83	0,64	0,72	0,56	0,79	0,71	0,77	0,53	0,51	0,70

Tabela 7 - Dados relativos aos cálculos do indicador OEE da embaladora de cápsula.

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Média
Duração do turno (min)	502	490	178	66	125	609	185	521	46	190	
Tempo de paragem programado	117	127	53	38	35	177	40	167	18	58	
Tempo de paragem não programado	54	38	15	2	3	48	2	30	2	21	
Desempenho ideal de produção (unid/min)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Quantidade produzida	17971	17916	5351	1267	3812	18469	6627	19650	1590	5579	
Quantidade de produtos defeituosos	472	212	151	27	128	420	396	642	147	201	
Tempo planeado de produção	385	363	125	28	90	432	145	354	28	132	
Tempo operação	331	325	110	26	87	384	143	324	26	111	
Disponibilidade	0,86	0,90	0,88	0,93	0,97	0,89	0,99	0,92	0,93	0,84	0,91
Performance	0,78	0,79	0,69	0,70	0,63	0,69	0,66	0,87	0,87	0,72	0,74
Qualidade	0,97	0,99	0,97	0,98	0,97	0,98	0,94	0,97	0,91	0,96	0,96
OEE	0,65	0,70	0,59	0,63	0,58	0,60	0,61	0,77	0,74	0,58	0,65

Os resultados das médias do indicador de cada embaladora estão representados na tabela 8. O valor referência para o indicador de disponibilidade, que avalia o tempo de paragem da máquina em relação ao tempo de produção planeada, é de 90%. As embaladoras das linhas 1 e 2 apresentam o índice mais baixo deste indicador (80% e 85%, respetivamente) e, apesar da embaladora da linha 4 estar muito próxima (89%), apenas a da linha 5 apresenta um valor médio de 91%. Para o indicador da performance, que indica a perda de velocidade da máquina, o valor de referência é de 95% e nenhuma das embaladoras apresenta esse valor. A embaladora da linha 5 é a que apresenta um valor de performance mais baixo (74%), a da linha 4 apresenta um valor de 83% e as restantes apresentam valores mais altos, rondam os 87-88%. Para o indicador qualidade, que avalia a perda da qualidade, o valor de referência é de 99%. Apesar dos valores das 4 embaladoras deste

indicador rondarem os 95-98%, a embaladora 1 apresenta um índice mais alto (98%) e a 2 e 4 o índice mais baixo (95%).

Tabela 8 - Valores médios de OEE de cada embaladora.

Embaladora	Linha 1 (Grão)	Linha 2 (Grão)	Linha 4 (Pastilha)	Linha 5 (Cápsula)	Valor de referência
Disponibilidade	80%	85%	89%	91%	90%
Performance	87%	88%	83%	74%	95%
Qualidade	98%	95%	95%	96%	99%
OEE	67%	70%	70%	65%	85%

O valor de referência de OEE, que dá nota global sobre a percentagem de tempo produtivo, é de 85%. As embaladoras que apresentam o maior valor deste indicador são as embaladoras 2 e 4 com 70%. As embaladoras 5 e 1 apresentam valores mais baixos que rondam os 65-67%, respetivamente.

Os indicadores de disponibilidade e performance são os que apresentam valores mais baixos, assim, é importante saber quais são os principais motivos de paragens de cada linha.

4.2.2. Análise dos principais motivos de paragem

Linha 1 – Embaladora de grão

A tabela 9 e a figura 13 mostram as principais causas de paragem e respetivas importâncias da máquina de embalamento do café em grão da linha 1 que é parada pelo operador propositadamente: para troca do material de embalagem, assim como para troca da paleta ou quando o saco embalado começa a apresentar defeito, ou por algum motivo, há necessidade de fazer alguma limpeza. O problema “defeito do filme” ocorre quando o material de embalagem não está conforme e o problema “falta de café” ocorre por falha do operador. Problemas como “falta de soldadura” e “falha de leitura do ponto de célula” são causados por desgaste ou falta de limpeza. O “rompimento do filme” ocorre ou por defeito do filme ou por falta de limpeza.

Tabela 9 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora da linha 1.

Motiva de paragem	Total	%	% acumulada
Troca do material de embalagem	34	27,0%	27%
Troca de palete	24	19,0%	46%
Falta de café	16	12,7%	59%
Defeito filme	16	12,7%	71%
Descalibração da balança	10	7,9%	79%
Falta de soldadura	8	6,3%	86%
Rompimento do filme	8	6,3%	92%
Falha de leitura do ponto célula	6	4,8%	97%
Limpeza	4	3,2%	100%
	126	100%	

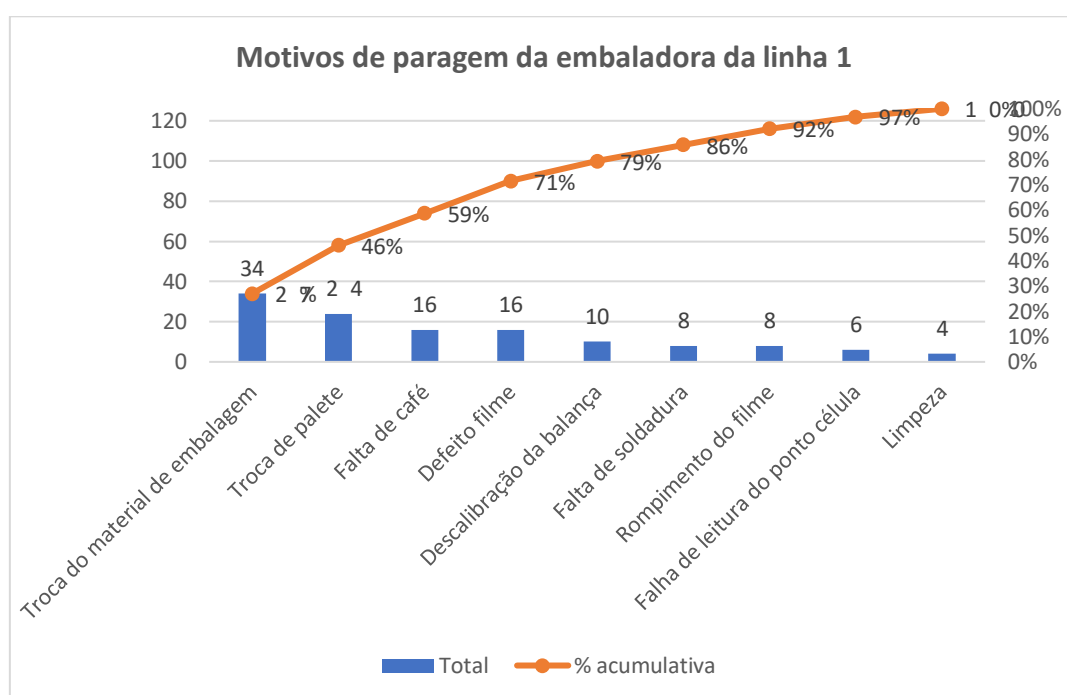


Figura 13 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de grão da linha 1.

Conclui-se que, as paragens propositadas representam uma grande percentagem dos motivos de paragem (46%) da linha 1, nomeadamente, “troca do material de embalagem” e “troca de palete”, seguidas pela paragem por falta de café que representa 13% dos motivos de paragem. Motivos como “falta de soldadura” (6.3%), “rompimento do filme” (6.3%), “falha de leitura do ponto de célula” (4.8%) e “limpeza” (3.2%) representam uma percentagem mínima dos motivos de paragem.

Linha 2 – Embaladora de grão

A tabela 10 e a figura 14 mostram as causas de paragem e respetivas importâncias da embaladora da linha 2. O funcionamento desta embaladora é muito semelhante ao da linha 1, exceto no problema “falha da marcação da válvula” que apenas ocorre nesta por falha do operador ao não colocar válvulas, ou por desgaste da máquina.

Tabela 10 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora da linha 2.

Motivos de paragem	Total	%	% acumulada
Troca de palete	46	23,5%	23%
Falha de marcação da válvula	44	22,4%	46%
Defeito do filme	36	18,4%	64%
Troca do material de embalagem	34	17,3%	82%
Rompimento do filme	16	8,2%	90%
Falta de café	12	6,1%	96%
Falha de leitura do ponto célula	8	4,1%	100%
	196	100%	

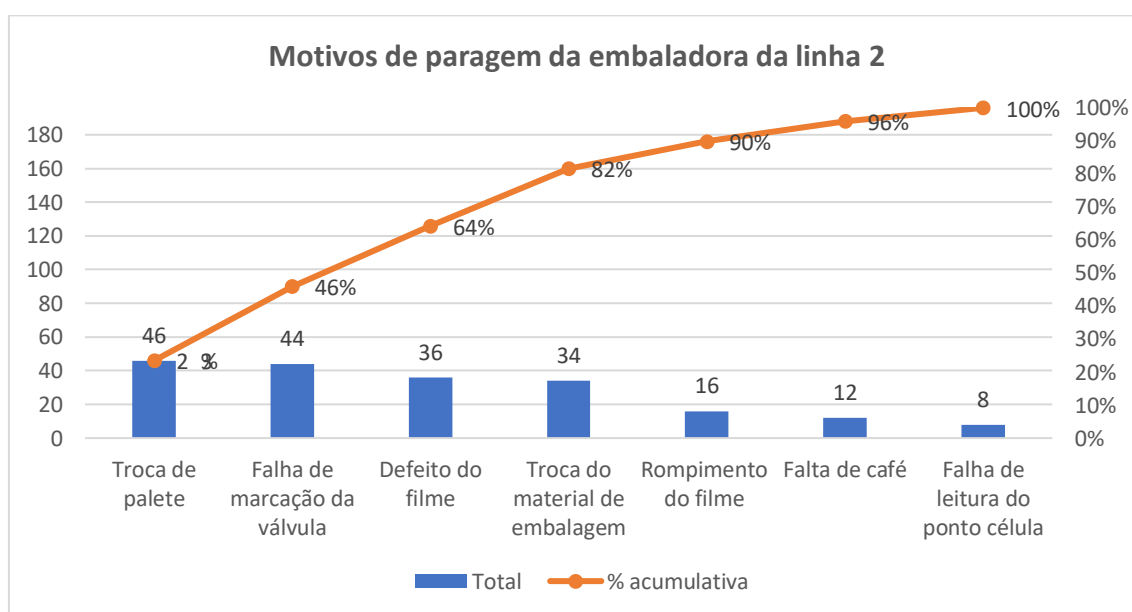


Figura 14 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de grão da linha 2.

Conclui-se que, as paragens “troca de palete” (23.5%) e “falha da marcação da válvula” (22.4%) são os principais motivos de paragem da linha 2, representam 46%. As paragens “defeito do filme” (18.4%) e “troca do material de embalagem” (17.3%) também são

frequentes. E os motivos como “rompimento do filme” (8.2%), “falta de café” (6.1%) e “falha de leitura do ponto de célula” (4.1%) representam uma mínima percentagem de motivos de paragem.

Linha 4 – Embaladora de pastilha

A tabela 11 e a figura 15 mostram as causas de paragem e respetivas importâncias da máquina de pastilha que é parada pelo operador propositadamente: a cada 1000 pastilhas, para contagem, quando o filme começa a apresentar defeito e quando têm de trocar a fita do marcador. O problema “pastilha encravada no cortante” ocorre quando a dose do café ultrapassa os limites, assim como “ensacadora muito lenta”. Para avisar que o doseador está a ficar vazio até, efetivamente ficar, a máquina avisa parando várias vezes. E problemas como “fechamento de barra não completo”, “tempo máximo grupo pastilha” e “temperatura de soldadura baixa” são causados por desgaste ou falta de limpeza.

Tabela 11 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora de pastilha.

Motivos de paragem	Total	%	% acumulada
Pastilha encravada no cortante	63	40,6%	41%
Doseador vazio	27	17,4%	58%
Ensacadora muito lenta	26	16,8%	75%
Papel de filtro insuficiente	13	8,4%	83%
Fechamento de barra não completo	10	6,5%	90%
Tempo máximo grupo pastilha	7	4,5%	94%
Paragem a cada 1000	4	2,6%	97%
Problema de filme a fugir	2	1,3%	98%
Temperatura de soldadura baixa	2	1,3%	99%
Troca fita marcador	1	0,6%	100%
	155	100%	

Conclui-se que, mais de metade das paragens (58%) são causadas pelo problema “pastilha encravada no cortante” e “doseador vazio”. As paragens propositadas representam uma mínima percentagem, assim como “temperatura de soldadura baixa”.

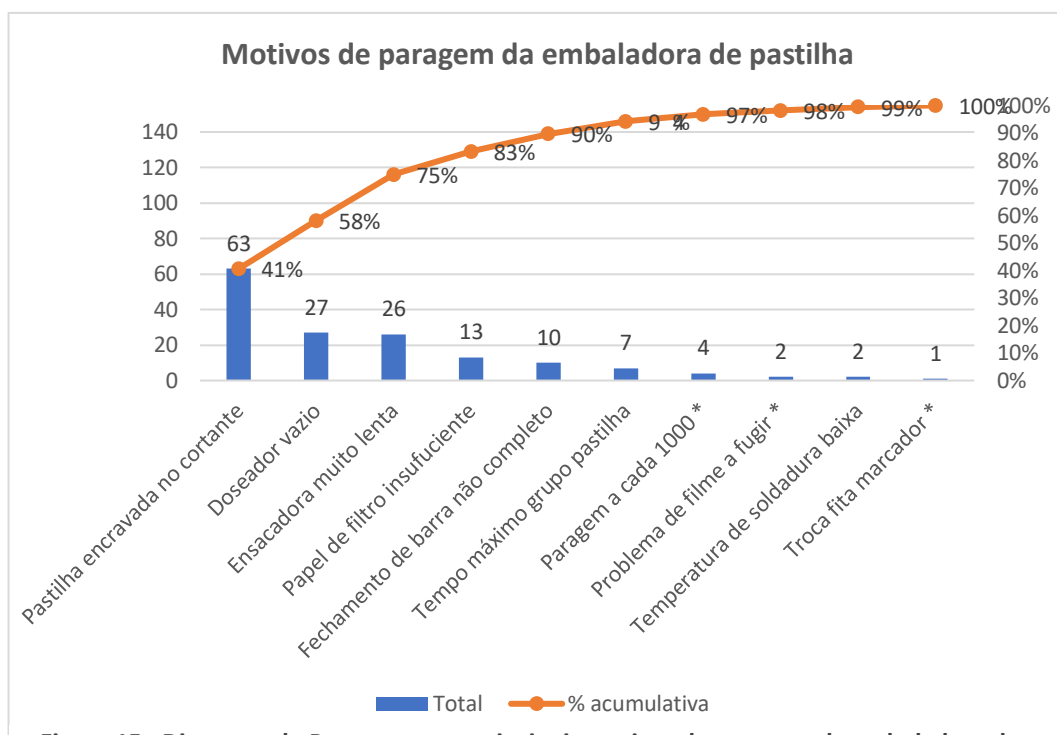


Figura 15 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de pastilha.

Linha 5 – Embaladora de cápsula

A tabela 12 e a figura 16 mostram as causas de paragem e respetivas importâncias da máquina de cápsula que é parada pelo operador propositadamente: a cada 1000 cápsulas, para contagem e, no arranque, para acertar a dose de café das primeiras embaladas. Os restantes problemas ocorrem por desgaste ou falta de limpeza.

Tabela 12 - Motivos e respetiva percentagem das paragens da embaladora de cápsulas.

Motivos	Total	%	% acumulada
Saco suspenso	372	56,4%	56%
Doseador vazio	87	13,2%	70%
2 cápsulas por saco	65	9,9%	80%
Acertar doseador	49	7,4%	87%
Tempo máximo de queda	32	4,9%	92%
Canal cápsula vazio	21	3,2%	95%
Paragem a cada 1000	17	2,6%	98%
Troca da bobina do papel de filtro	9	1,4%	99%
Erro de inverter desenrolamento da bobina	2	0,3%	99%
Muitas tampas descartadas	2	0,3%	100%
Erro pinças horizontal	2	0,3%	100%
Erro de marca	1	0,2%	100%
	659	100,0%	

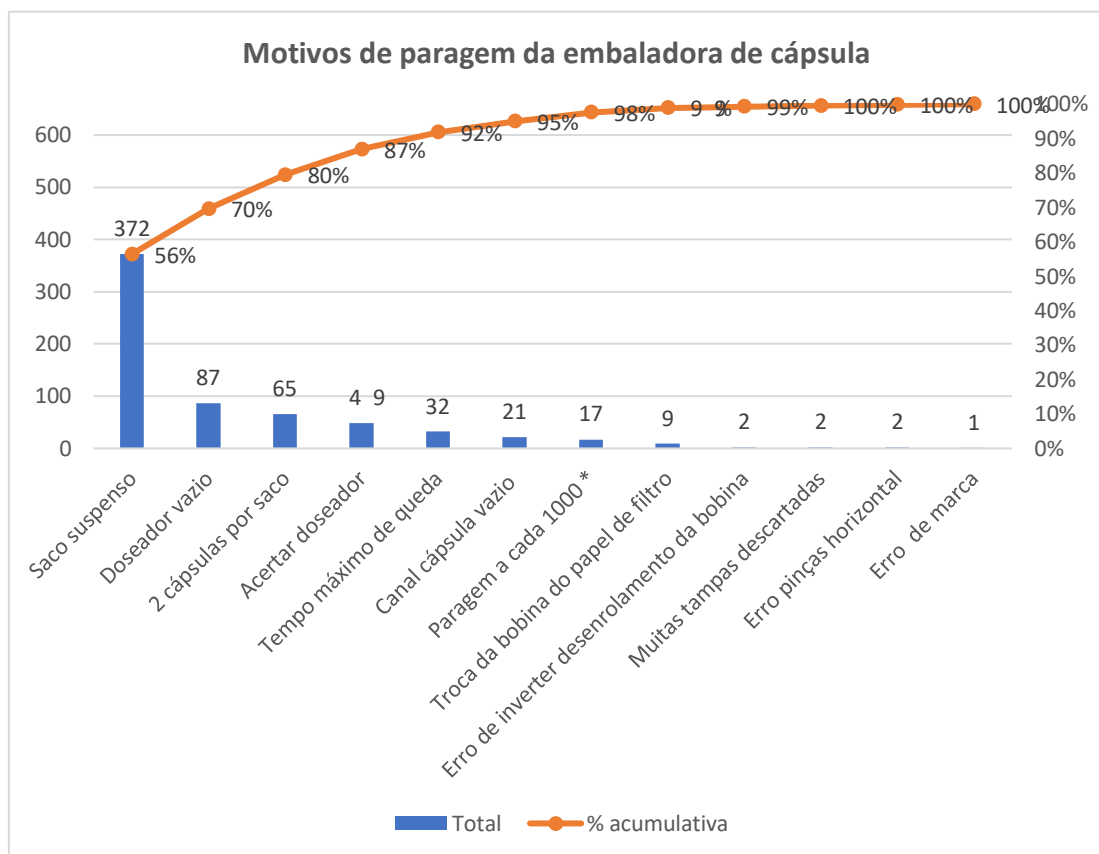


Figura 16 - Diagrama de Pareto com os principais motivos de paragem da embaladora de cápsula.

Conclui-se que, mais de metade das paragens (56%) são causadas pelo problema “saco suspenso” e que, além disso, problemas como “doseador vazio” e “2 cápsulas por saco” representam 80%. As paragens propositadas representam 7.4% (acertar doseador) e 2.6% (paragem a cada 1000). “Erro de inverter desenrolamento da bobina”, “muitas tampas descartadas”, “erro pinças horizontal” e “erro de marca” representam uma percentagem mínima de motivos de paragem.

4.2.3. Conclusões sobre o OEE

O indicador de OEE mede a capacidade fabril de produção instalada e determina a percentagem de potencial que ficou por aproveitar. Os índices das quatro embaladoras variam entre 65 a 70% o que significa que a empresa está a desperdiçar 30 a 35% do seu potencial. O valor de referência é de 85%, porém, nenhuma das embaladoras apresenta esse valor. As embaladoras 2 e 4 apresentam o maior valor, 70%, e as embaladoras 5 e 1 apresentam os valores mais baixos, 65-67%, respetivamente.

Os indicadores de disponibilidade e performance apresentam valores mais baixos e, como são influenciados por paragens não programadas, foram estudados os principais motivos de paragens de cada linha através do diagrama de Pareto. Na linha 1 as paragens propositadas representam uma grande percentagem dos motivos de paragem, nomeadamente, “troca do material de embalagem” e “troca de palete”, seguidas pela paragem por falta de café. A linha 2 é também afetada principalmente por paragens propositadas, nomeadamente por “troca de palete” e “falha da marcação da válvula”. As paragens “defeito do filme” e “troca do material de embalagem” também são frequentes. Nas linhas 4 e 5 as principais paragens não são planeadas, pelo que, afetam diretamente a eficiência do equipamento. Na linha 4 mais de metade das paragens são causadas pelo problema “ensacadora muito lenta” e “doseador vazio” e na linha 5 são causadas por problemas como “saco suspenso”, “doseador vazio” e “2 cápsulas por saco”.

Assim, o estudo do indicador *OEE* em conjunto com o diagrama de Pareto ajudou a identificar os problemas mais importantes a focar futuramente para melhoria dos índices de produtividade da empresa.

4.3. Controlo das embaladoras

Esta secção relata o estudo que foi desenvolvido para analisar o trabalho efetuado pelas máquinas embaladoras e implementar um sistema de controlo da sua operação.

Uma das questões essenciais no controlo das máquinas ou processos está no facto de se pretender simplesmente cumprir uma especificação legal, ou se se pretende controlar o equipamento dentro do melhor que ele consegue fazer. Nos casos em estudo (controlo das embaladoras) pode pretender-se simplesmente cumprir a legislação (portaria 1198/91) desenvolvendo limites baseados num desvio padrão calculado como $EA/3$ ou $EA/4$, ou, se as enchedoras forem muito precisas, desenvolver limites com o desvio padrão real das máquinas (σ_{comum}). Assim, um trabalho prévio foi feito com as diferentes linhas de enchimento para avaliar a dispersão natural das máquinas.

No trabalho que se relata de seguida, os valores do erro admissível por defeito (EA) são retirados da Portaria 1198/91 para o caso em apreço. De acordo com a Portaria existe um limite inferior que deve ser controlado, isto é, a Portaria impõe um $LIE = VN - EA$. Mas a empresa não pretende encher embalagens em excesso, pelo que considera um $LSE = VN + EA$.

4.3.1. Análise da Linha 1 – Embaladora de grão

Para o processo de embalagem do grão na QN de 1000 g o EA é 15 g (Portaria 1198/91). Assim, o LIE é de 985 g e o LSE é de 1015 g. Para verificar a média do conteúdo efetivo utilizaram-se dados históricos de 50 embalagens.

A partir do gráfico da variação temporal (figura 17) nota-se que os valores se apresentam dentro dos limites, mas que quase todos se apresentam acima do valor nominal. O processo caracteriza-se com uma média de 1002.92 g e um desvio padrão de 1.07.

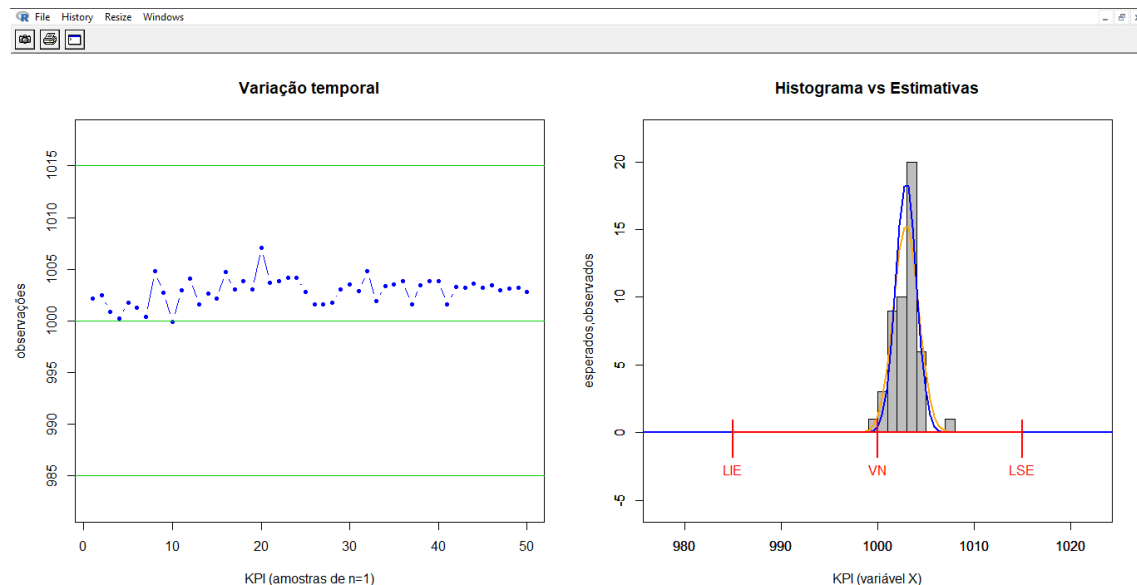


Figura 17 - Variação do peso médio da linha 1. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.

Os dados da figura 18 mostram que o processo é capaz de cumprir com a especificação, uma vez que, a capacidade do processo, de valor 4.66, é muito superior a 1.33. O processo está deslocado para a direita, dado que, o Cpk é positivo. Os valores de Cp e Cpk são maiores que os de Pp e Ppk (em termos absolutos), e o teste F mostra que não há diferença significativa entre os desvio padrão comum e global ($p=0.09$), deduzindo-se que não existem causas especiais de variação. O nível sigma é muito alto, refletindo um processo muito preciso e a dispersão ronda os 20%.

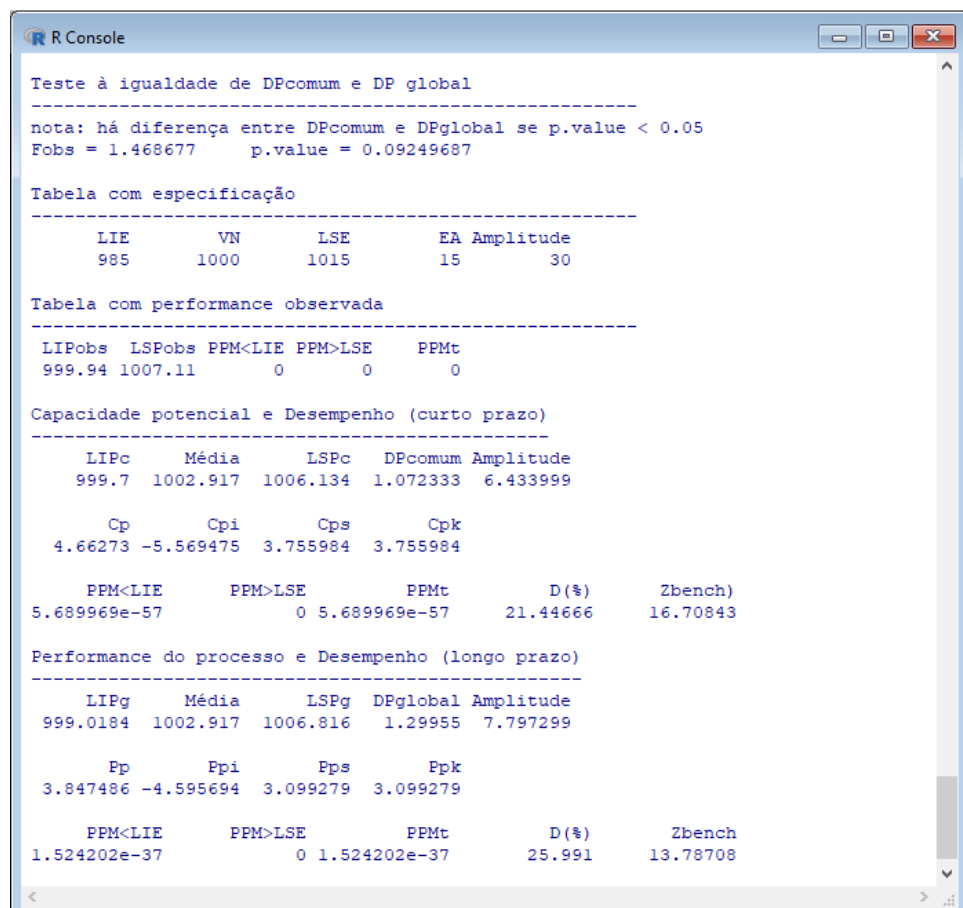


Figura 18 - Saída dos dados da linha 1 pelo software R.

4.3.2. Análise da Linha 2 – Embaladora de grão

Para o processo de embalagem do grão na QN de 1000 g o EA é 15 g (Portaria 1198/91), o LIE é de 985 g e o LSE é de 1015 g. Para verificar a média do conteúdo efetivo, apenas para esta linha, foi realizado um controlo não destrutivo ao longo do tempo de produção, recolhendo uma amostra de $N=20$ embalagens de tamanho $n=5$ nos intervalos definidos pelo controlo de qualidade interno da empresa.

A partir do gráfico da variação temporal (figura 19) nota-se que os valores vão variando em torno do valor nominal e sempre dentro dos limites, mas que, o processo ao longo do tempo é instável com valores a diminuir e a aumentarem ao longo de todo o processo. É importante referir que o processo é considerado muito bom com a média de 1000.5 g, o que significa que a média do conteúdo embalado, corresponde ao valor nominal, o que é uma exigência da Portaria 1198/91.

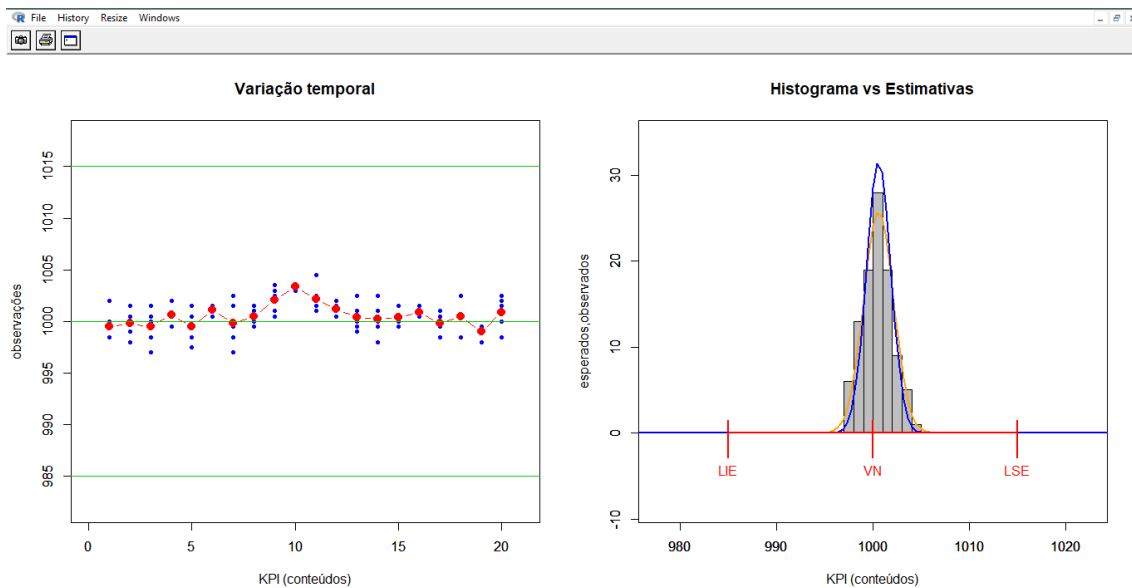


Figura 19 - Variação do peso médio da linha 2. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.

As figuras 19 e 20 mostram que o processo é capaz de cumprir com a especificação, uma vez que, a capacidade do processo, de valor 3.9, é superior a 1.33. O processo está deslocado para a direita, dado que o Cpk é positivo. Os valores de Cp e Cpk e de Pp e Ppk são idênticos entre si, mas o teste F mostra que há diferença entre os desvio padrão, uma vez que o $p.value$, de valor 0.03, é inferior a 0.05. Conclui-se que há causas especiais de variação. O nível sigma de curto e longo prazo são altos, de 12 e 10 e a dispersão de 25% e 31%, respetivamente, refletindo um processo com elevada precisão.

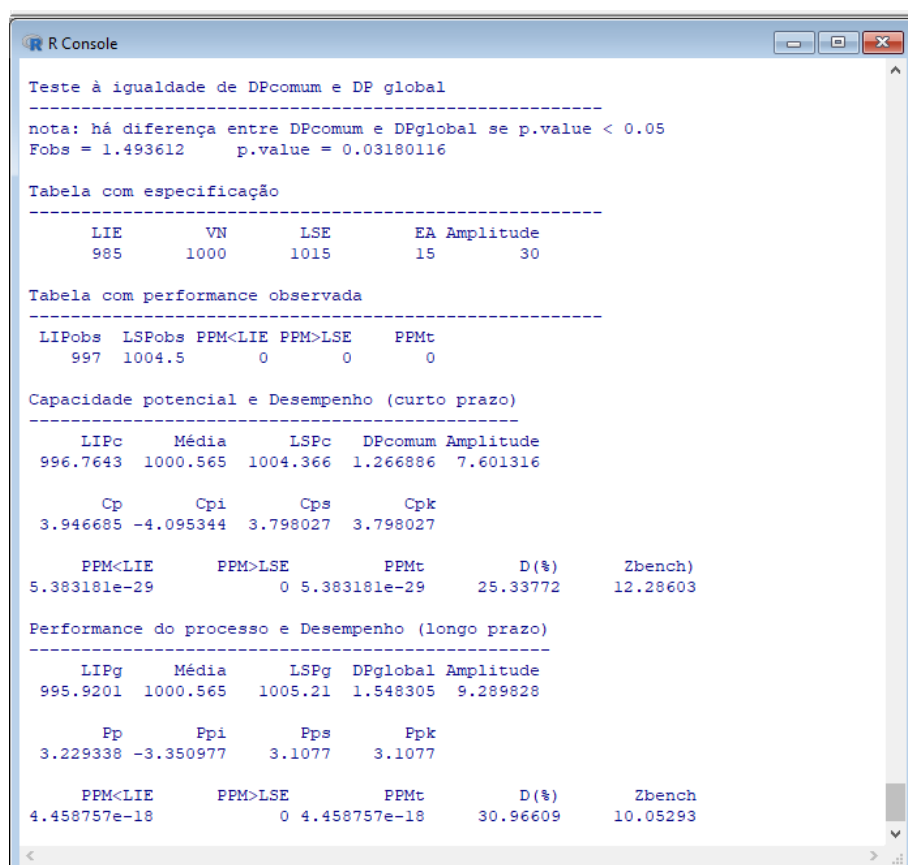


Figura 20 - Saída dos dados da linha 2 pelo software R.

4.3.3. Análise da Linha 4 – Embaladora de pastilha

Para o processo de embalagem da pastilha na QN de 175 g o EA é de 7.9 g (Portaria 1198/91), o LIE é de 167.1 g e o LSE é de 182.9 g. Para verificar a média do conteúdo efetivo, analisou-se uma amostra de 30 pastilhas.

A partir do gráfico da variação temporal da figura 21 nota-se que os pesos da embalagem da pastilha se apresentam claramente dentro dos limites, e que, a maior parte apresenta valores acima do valor nominal. A média do processo é de 175.2 g e desvio padrão é de 0.68. Na figura 21 vê-se a curva normal laranja (longo prazo) mais larga e mais baixa do que a curva azul (curto prazo). Tal só acontece se o desvio padrão comum for menor que o desvio padrão global.

O histograma da figura 21 e os dados da figura 22 mostram que o processo é capaz de cumprir com a especificação, uma vez que, a capacidade do processo, de valor 3.87, é muito superior a 1.33 e que está ligeiramente deslocado para a direita, dado que, o Cpk é positivo. Os valores de Cp e Cpk são muito próximos e como os valores de Pp e Ppk são menores, não há razões para crer que existem causas especiais de variação, tal como

confirmado com o teste F com um *p.value* de 0.19. O nível sigma é muito alto, refletindo um processo com precisão e os valores de dispersão do curto e longo prazo são de 25% e 30%, respetivamente.

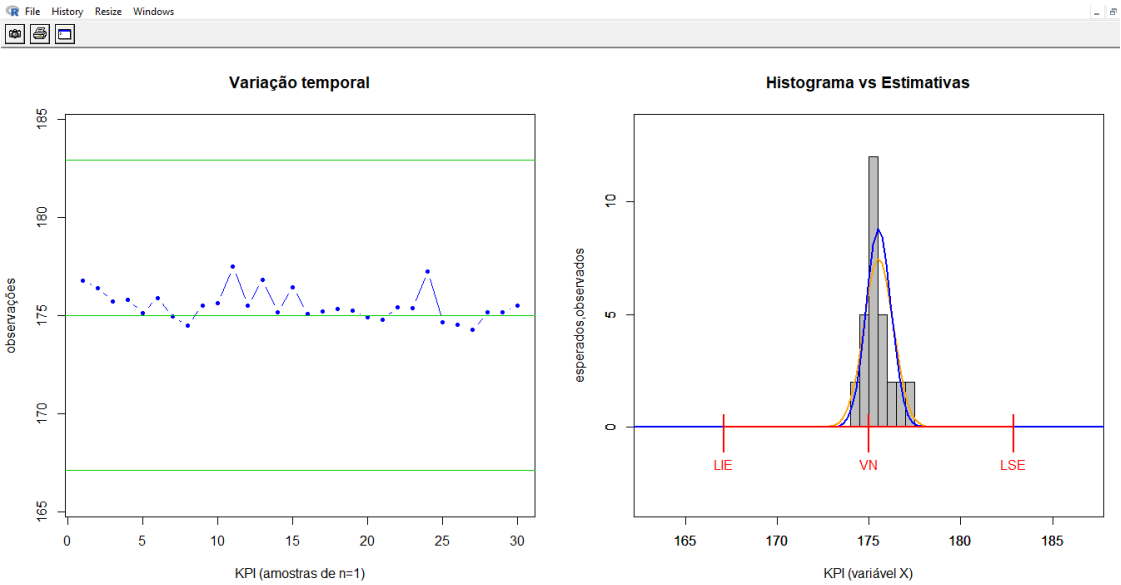


Figura 21 - Variação do peso médio da linha 4. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.

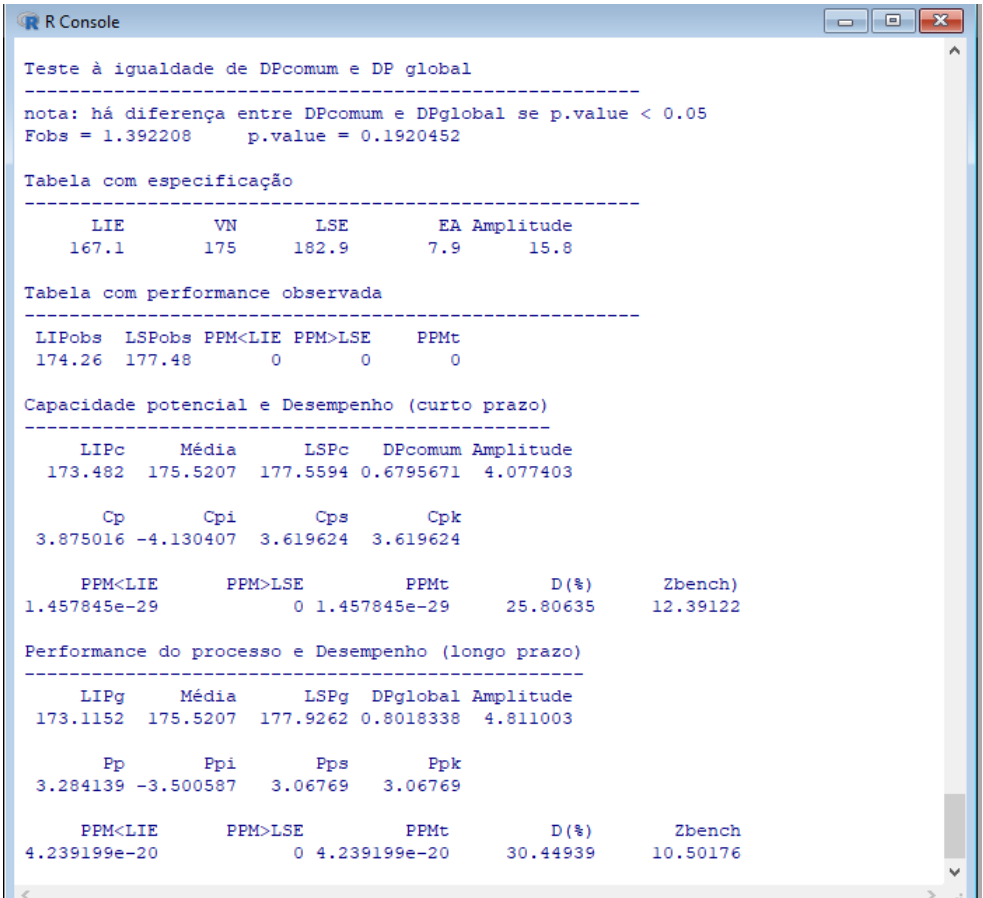


Figura 22 - Saída dos dados da linha 4 pelo software R.

4.3.4. Análise da linha 5 – Embaladora de cápsula

Para o processo de embalagem da cápsula na *QN* de 55 g o *EA* é de 4.5 g (Portaria 1198/91), o *LIE* é de 50.5 g e o *LSE* é de 59.5 g. Para verificar a média do conteúdo efetivo, analisou-se uma amostra de 40 cápsulas.

A partir do gráfico da variação temporal e do histograma (figura 23) e da figura 24 nota-se que os valores se apresentam dentro dos limites, mas que, quase todos se apresentam acima do valor nominal, com uma média de 55.97 g. A capacidade do processo ($C_p=1.9$), como é superior a 1.33, mostra que o processo é capaz de respeitar a especificação e que não vai produzir unidades defeituosas, mas em comparação com as linhas anteriores, esta linha de enchimento apresenta uma variabilidade muito maior. O teste F mostra que há diferenças entre os valores de desvio padrão (*p.value* é de 0.04), pelo que se conclui que há causas especiais de variação. O nível sigma é alto (embora muito menor que nos casos anteriores), refletindo um processo com precisão e os valores de dispersão do curto e longo prazo são de 48% e 63%, respectivamente.

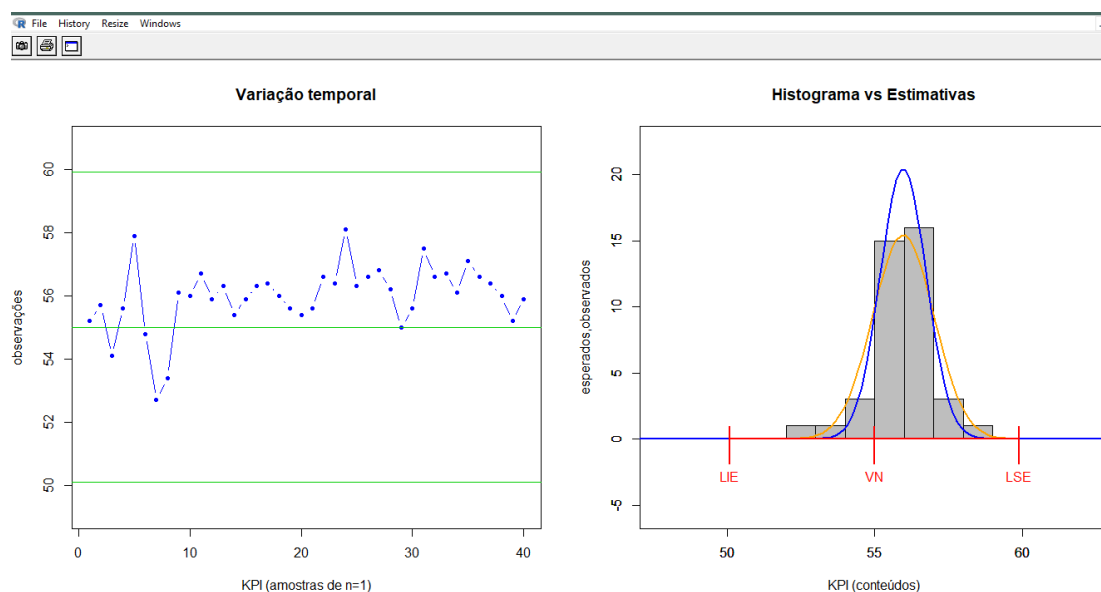


Figura 23 - Variação do peso médio da linha 5. À esquerda, as linhas a verde representam a especificação. À direita a especificação representa-se a vermelho.

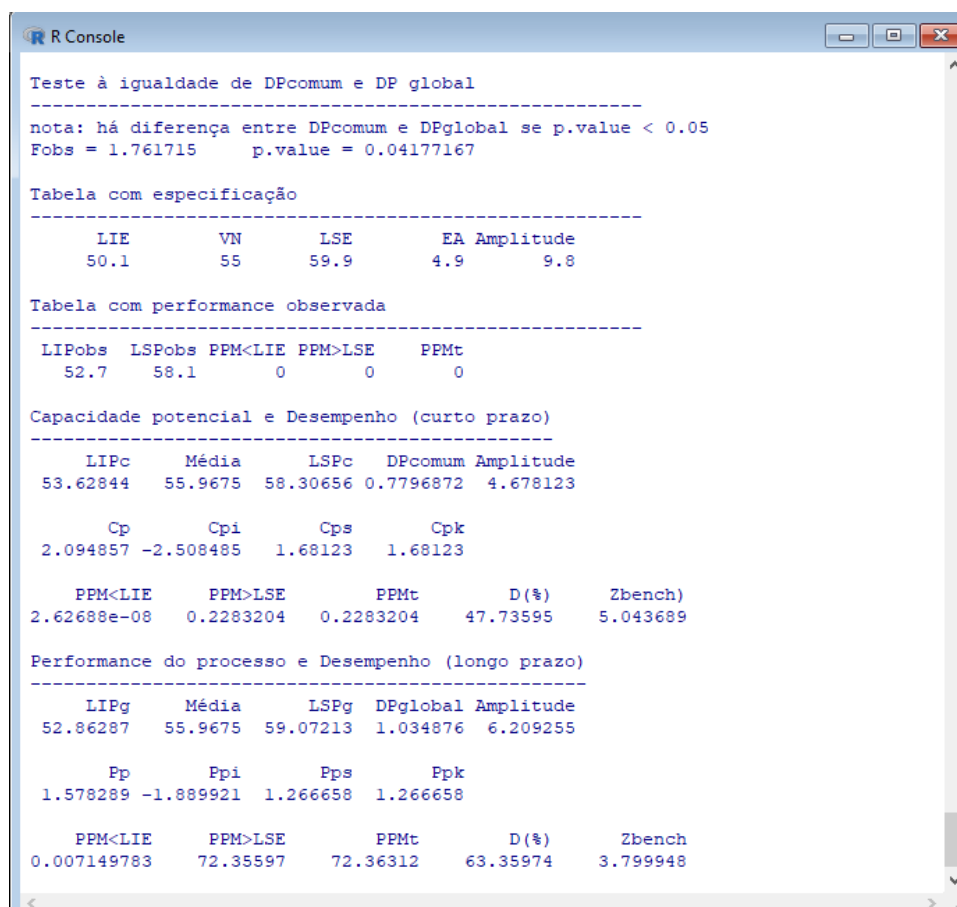


Figura 24 - Saída dos dados da linha 5 pelo software R.

4.3.5. Conclusões sobre a análise das embaladoras

A análise das quatro embaladoras mostra que todas apresentam uma dispersão muito menor do que aquela que é necessária para se cumprir com a legislação. Assim, muito dificilmente um inspetor alguma vez verificará problemas com os conteúdos efetivos. No entanto, o facto da dispersão das máquinas ser muito baixa faz com que pequenos desvios na média da quantidade embalada possam ser facilmente detetados por um inspetor, sendo por isso necessário prestar uma especial atenção às cartas das médias e de valores individuais.

Verifica-se também que em quase todos os casos existem razões para crer que há causas especiais de variação nos processos de enchimento. Os gráficos das variações ao longo do tempo, juntamente com observações efetuadas na empresa, mostram que as práticas de análise e regulação das máquinas são a principal causa especial de variação. Este facto poderá ser resolvido com a criação de cartas de controlo da qualidade ajustadas ao melhor que cada máquina pode fazer, isto é, baseadas na quantidade nominal e em limites calculados através do desvio padrão comum determinado para cada máquina.

4.4. Cartas de controlo

Uma vez que todas as embaladoras executam o enchimento com um erro muito menor do que aquele que é exigido pela legislação aplicável (Portaria 1198/91), tal como visto nas secções anteriores, as cartas de controlo foram construídas com os dados das próprias máquinas, isto é, baseadas no desvio padrão calculado para cada máquina, sendo as linhas centrais para as cartas das médias dadas pelos valores nominais.

Deve também notar-se que as constantes usadas para o cálculo dos limites superior e inferior das cartas, correspondem a intervalos de confiança de 99,73%.

4.4.1. Linha 1 – Embaladora de grão

Os dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 1 encontram-se na tabela 13.

Tabela 13 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 1.

Amostr a	<i>I</i>	MR
	Conteúdo efetivo	
1	1002,20	
2	1002,45	0,25
3	1000,89	1,56
4	1000,25	0,64
5	1001,79	1,54
6	1001,30	0,49
7	1000,43	0,87
8	1004,80	4,37
9	1002,73	2,07
10	999,94	2,79
11	1002,94	3,00
12	1004,09	1,15
13	1001,57	2,52
14	1002,63	1,06
15	1002,14	0,49
16	1004,74	2,60
17	1003,04	1,70
18	1003,83	0,79
19	1003,02	0,81
20	1007,11	4,09
21	1003,71	3,40
22	1003,86	0,15
23	1004,18	0,32
24	1004,20	0,02
25	1002,84	1,36
26	1001,62	1,22
27	1001,62	0,00
28	1001,74	0,12
29	1003,06	1,32
30	1003,54	0,48
31	1002,90	0,64
32	1004,83	1,93
33	1001,91	2,92
34	1003,37	1,46
35	1003,57	0,20
36	1003,87	0,30
37	1001,60	2,27
38	1003,48	1,88
39	1003,85	0,37
40	1003,82	0,03
41	1001,63	2,19
42	1003,26	1,63
43	1003,17	0,09
44	1003,58	0,41
45	1003,18	0,40
46	1003,44	0,26
47	1002,97	0,47
48	1003,14	0,17
49	1003,21	0,07
50	1002,81	0,40
	$\bar{x}$	$\overline{MR}$ $= LMC$
	1002,92	1,21

Os cálculos dos limites de controlo são:

Para a carta de controlo de valores individuais:

$$LIC = VN - E_2 \times \overline{MR}$$

$$LIC = 1000 - 2,66 \times 1,21$$

$$\mathbf{LIC = 996,78}$$

$$\mathbf{LMC = VN = 1000}$$

$$LSC = VN + E_2 \times \overline{MR}$$

$$LSC = 1000 + 2,66 \times 1,21$$

$$\mathbf{LSC = 1003,22}$$

Para a carta de controlo de amplitudes móveis:

$$LIC = \overline{MR} \times D_3$$

$$LIC = 1,21 \times 0$$

$$\mathbf{LIC = 0}$$

$$\mathbf{LMC = \overline{MR} = 1,21}$$

$$LSC = \overline{MR} \times D_4$$

$$LSC = 1,21 \times 3,267$$

$$\mathbf{LSC = 3,95}$$

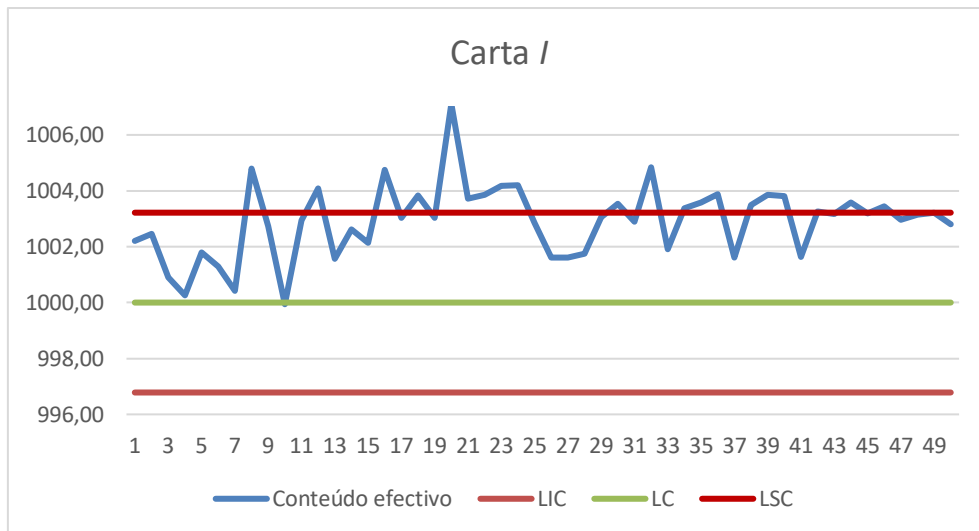


Figura 25 - Carta de controlo para valores individuais (*I*) da embaladora da linha 1.

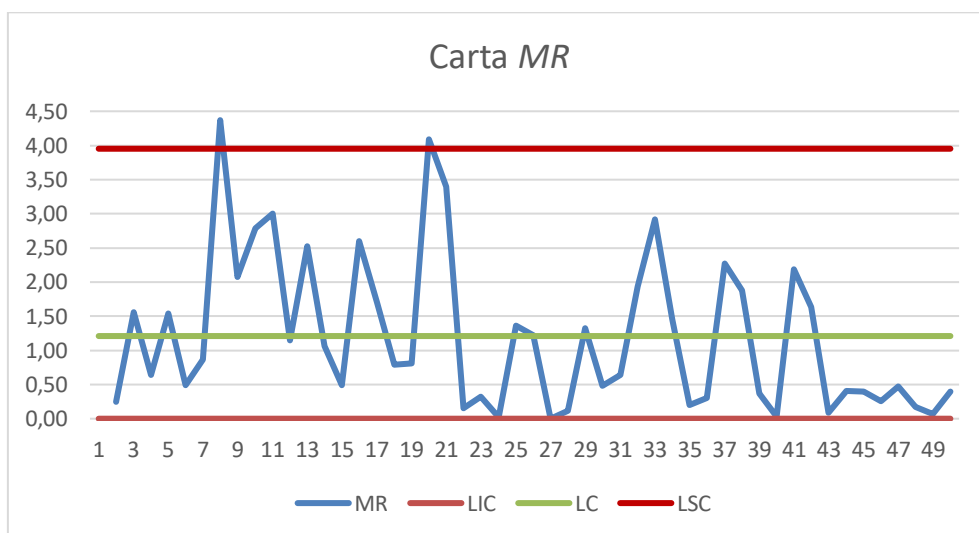


Figura 26 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (*MR*) da embaladora da linha 1.

Na carta de controlo para valores individuais (figura 25) vê-se que o conteúdo embalado é, claramente, superior ao valor nominal. No início da produção apresentou uma direção crescente, refletindo um processo instável, com muitos pontos acima do limite superior de controlo. No entanto, como se estão a embalar quantidades superiores às exigências legais, tal não é um problema para o consumidor, que sai beneficiado, mas é um problema para a empresa que vende pelo mesmo preço quantidades superiores ao previsto.

Para as amplitudes móveis (figura 26) vê-se que os valores se mantêm em torno do limite central e que há dois pontos fora do limite superior de controlo, porém, não são relevantes.

4.4.2. Linha 2 – Embaladora de grão

Os dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 2 encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora da linha 2.

Amostra n.º	Valores da amostra					$\bar{x}$	s
1	998,5	1002	998,5	1000	998,5	999,5	1,54
2	1001,5	999	1000	998	1000,5	999,8	1,35
3	1001,5	998,5	1000	997	1000,5	999,5	1,77
4	1000,5	1000,5	1000,5	1002	999,5	1000,6	0,89
5	999,5	997,5	1000,5	998,5	1001,5	999,5	1,58
6	1001,5	1000,5	1001,5	1000,5	1001,5	1001,1	0,55
7	997	1002,5	998,5	1001,5	999,5	999,8	2,22
8	1001,5	1000,5	1001	1000	999,5	1000,5	0,79
9	1001	1003	1002,5	1003,5	1000,5	1002,1	1,29
10	1003,5	1003,5	1003,5	1003,5	1003	1003,4	0,22
11	1001	1004,5	1001,5	1002,5	1001,5	1002,2	1,40
12	1000,5	1000,5	1001,5	1002	1001,5	1001,2	0,67
13	1001	1000	999	1002,5	999,5	1000,4	1,39
14	999,5	1001	998	1002,5	1000	1000,2	1,68
15	1000,5	1001,5	1000,5	999,5	1000	1000,4	0,74
16	1001,5	1000,5	1001	1000,5	1001	1000,9	0,42
17	999,5	998,5	1001	1000,5	999,5	999,8	0,97
18	1002,5	1000,5	1000,5	998,5	1000,5	1000,5	1,41
19	999	998	999,5	999	999,5	999	0,61
20	1002	998,5	1002,5	1000	1001,5	1000,9	1,64
						$\bar{\bar{x}}$	$\bar{s} = LMC$
						1000,6	1,16

Os cálculos dos limites de controlo são:

Para a carta de controlo da média:

$$LSC = VN + A_3 \times \bar{s}$$

$$LSC = 1000 + 1,43 \times 1,16$$

$$LSC = 1001,7$$

$$\mathbf{LMC = VN = 1000}$$

$$LIC = VN - A_3 \times \bar{s}$$

$$LIC = 1000 - 1,43 \times 1,16$$

$$\mathbf{LIC = 998,3}$$

Para a carta de controlo do desvio padrão:

$$LSC = B_4 \times \bar{s}$$

$$LSC = 2,09 \times 1,16$$

$$\mathbf{LSC = 2,42}$$

$$\mathbf{LMC = 1,16}$$

$$LIC = B_3 \times \bar{s}$$

$$LIC = 0 \times 1,16$$

$$\mathbf{LIC = 0}$$

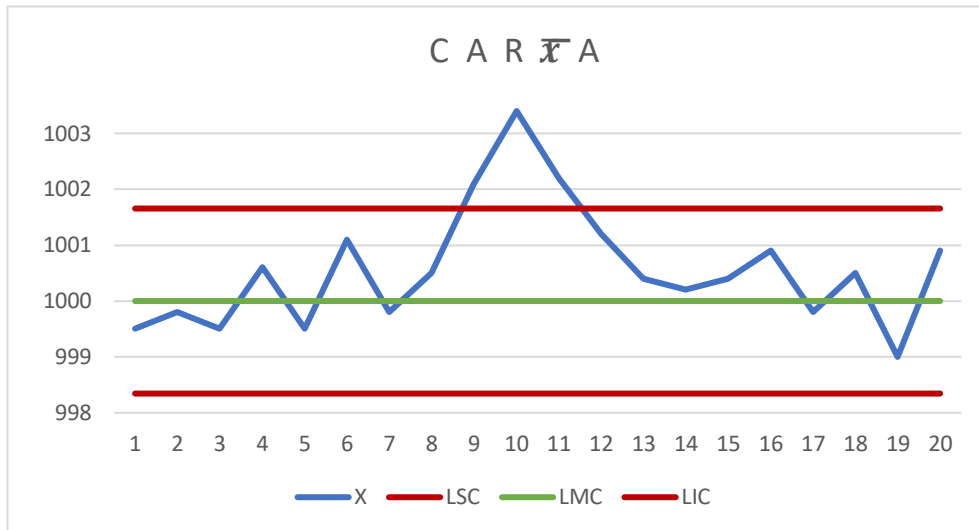


Figura 27 - Carta de controlo da média da embalagem da linha 2.

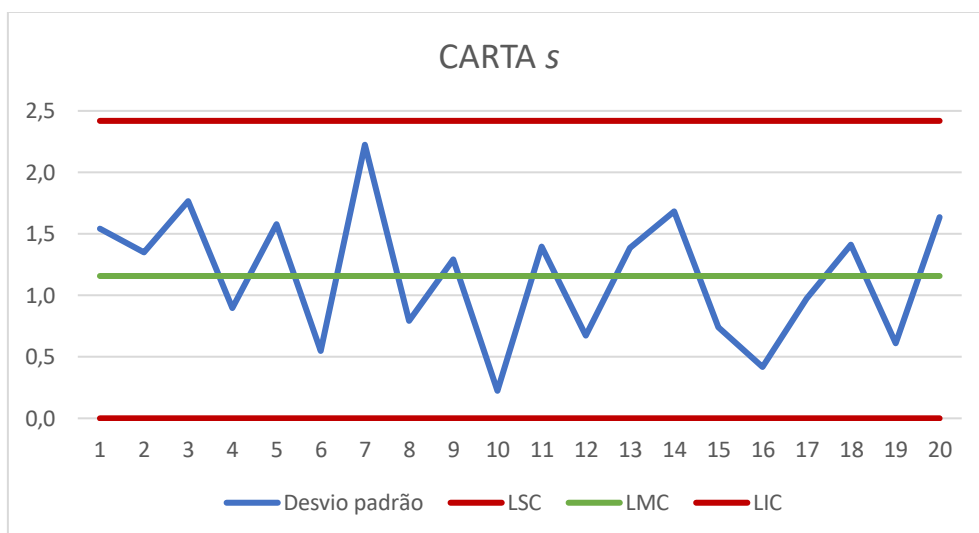


Figura 28 - Carta de controlo do desvio padrão da embalagem da linha 2.

Na carta de controlo da média da figura 27 vê-se que, no início da produção, não há razões para considerar que o conteúdo efetivo fosse diferente do nominal. O operador deduziu que os conteúdos estavam baixos, regulou a embalagem para um conteúdo maior, provocando a subida repentina dos conteúdos embalados (o que é uma causa especial de variação). Quando retirou nova embalagem verificou que conteúdo era muito elevado, tendo regulado a embalagem para conteúdos menores. Como consequência, o valor médio embalado desceu e ficou dentro dos limites previstos. Em relação à carta de

controle do desvio padrão (figura 28) claramente representa um processo sob controle estatístico.

4.4.3. Linha 4 – Embaladora de pastilha

Os dados relativos ao cálculo das cartas de controle da embaladora de pastilha encontram-se na tabela 15.

Tabela 15 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controle da embaladora de pastilha.

Amostra	<i>I</i>	MR
	Conteúdo efetivo	
1	176,77	
2	176,39	0,38
3	175,73	0,66
4	175,82	0,09
5	175,14	0,68
6	175,90	0,76
7	174,94	0,96
8	174,48	0,46
9	175,52	1,04
10	175,62	0,10
11	177,48	1,86
12	175,49	1,99
13	176,82	1,33
14	175,17	1,65
15	176,45	1,28
16	175,10	1,35
17	175,19	0,09
18	175,35	0,16
19	175,23	0,12
20	174,90	0,33
21	174,80	0,10
22	175,44	0,64
23	175,37	0,07
24	177,26	1,89
25	174,65	2,61
26	174,52	0,13
27	174,26	0,26
28	175,15	0,89
29	175,18	0,03
30	175,50	0,32
	$\bar{x}$	MR = LMC
	175.52	0.77

Os cálculos dos limites de controlo são:

Para a carta de controlo de valores individuais:

$$LIC = VN - E_2 \times \overline{MR}$$

$$LIC = 175 - 2,66 \times 0,77$$

$$\mathbf{LIC = 172,96}$$

$$\mathbf{LMC = VN = 175,52}$$

$$LSC = VN + E_2 \times \overline{MR}$$

$$LSC = 175 + 2,66 \times 0,77$$

$$\mathbf{LSC = 177,04}$$

Para a carta de controlo de amplitudes móveis:

$$LIC = \overline{MR} \times D_3$$

$$LIC = 0,77 \times 0$$

$$\mathbf{LIC = 0}$$

$$\mathbf{LMC = \overline{MR} = 0,77}$$

$$LSC = \overline{MR} \times D_4$$

$$LSC = 0,77 \times 3,267$$

$$\mathbf{LSC = 2,5}$$

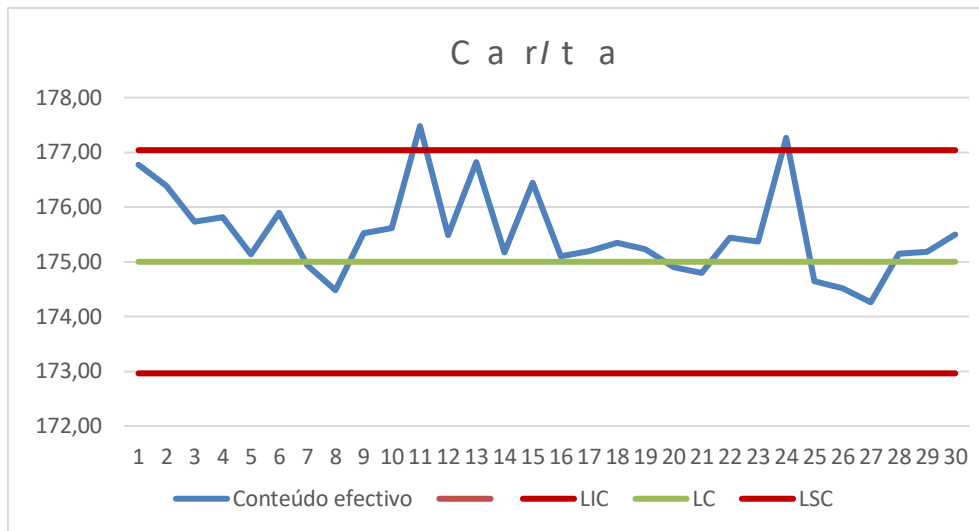


Figura 29 - Carta de controlo para valores individuais (*I*) da embaladora de pastilha.

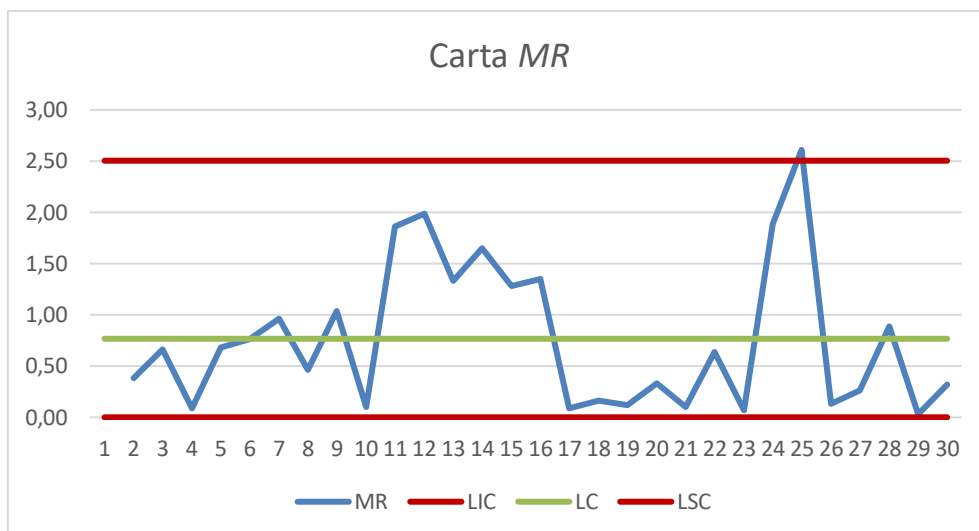


Figura 30 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (*MR*) da embaladora de pastilha.

Na carta de controlo da figura 29 (carta de valores individuais) vê-se que quase todos os pontos se encontram acima do valor nominal, refletindo um enchimento exagerado com benefício para o consumidor, de cerca de 1 g. Na carta de controlo para as amplitudes móveis (figura 30) apesar do ponto fora do limite superior de controlo, de seis pontos consecutivos acima e de sete abaixo do limite central, não há causas especiais de variação.

4.4.4. Linha 5 – Embaladora de cápsula

Os dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora de cápsulas encontram-se na tabela 16.

Tabela 16 - Dados relativos ao cálculo das cartas de controlo da embaladora de cápsula.

Amostra	<i>I</i>	<i>MR</i>			
	Conteúdo efetivo				
1	55,22		21	55,58	0,41
2	55,72	0,50	22	56,58	1,00
3	54,12	1,60	23	56,44	0,14
4	55,62	1,50	24	58,13	1,69
5	57,90	2,28	25	56,34	1,79
6	54,78	3,12	26	56,55	0,21
7	52,72	2,06	27	56,76	0,21
8	53,39	0,67	28	56,17	0,59
9	56,12	2,73	29	55,03	1,14
10	55,99	0,13	30	55,55	0,52
11	56,70	0,71	31	57,45	2,09
12	55,92	0,78	32	56,58	0,87
13	56,32	0,40	33	56,74	0,16
14	55,38	0,94	34	56,14	0,60
15	55,90	0,52	35	57,11	0,97
16	56,26	0,36	36	56,64	0,47
17	56,41	0,15	37	56,36	0,28
18	56,01	0,40	38	55,95	0,41
19	55,58	0,43	39	55,17	0,78
20	55,36	0,22	40	55,90	0,73
				$\bar{x}$	$\overline{MR}$ $= LMC$
				55,97	0,89

Os cálculos dos limites de controlo são:

Para a carta de controlo de valores individuais:

$$LIC = VN - E_2 \times \overline{MR}$$

$$LIC = 55 - 2,66 \times 0,89$$

$$**LIC = 52,64**$$

$$**LMC = VN = 55**$$

$$LSC = VN + E_2 \times \overline{MR}$$

$$LSC = 55 + 2,66 \times 0,89$$

$$**LSC = 57,36**$$

Para a carta de controlo de amplitudes móveis:

$$LIC = \overline{MR} \times D_3$$

$$LIC = 0,89 \times 0$$

$$**LIC = 0**$$

$$**LMC = \overline{MR} = 0,89**$$

$$LSC = \overline{MR} \times D_4$$

$$LSC = 0,89 \times 3,267$$

$$**LSC = 2,90**$$

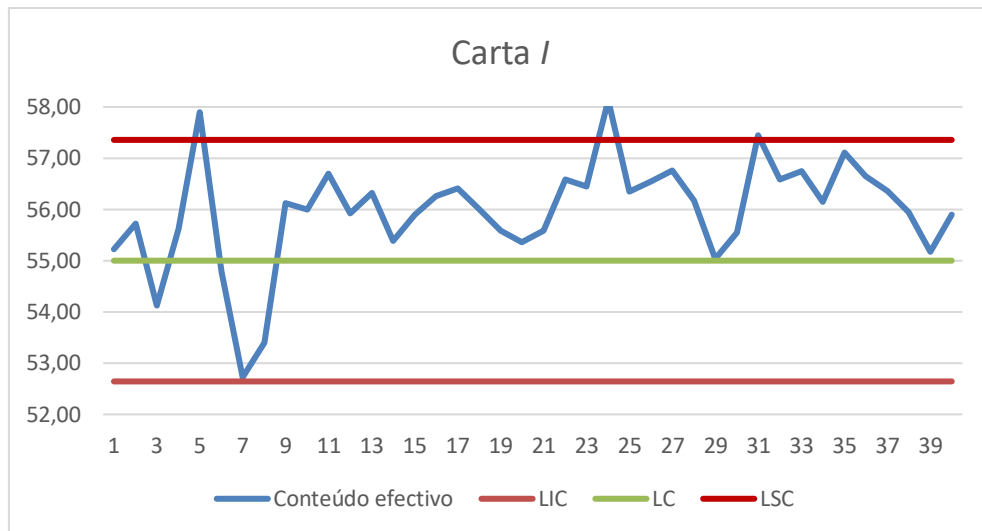


Figura 31 - Carta de controlo para valores individuais (*I*) da embaladora de cápsula.

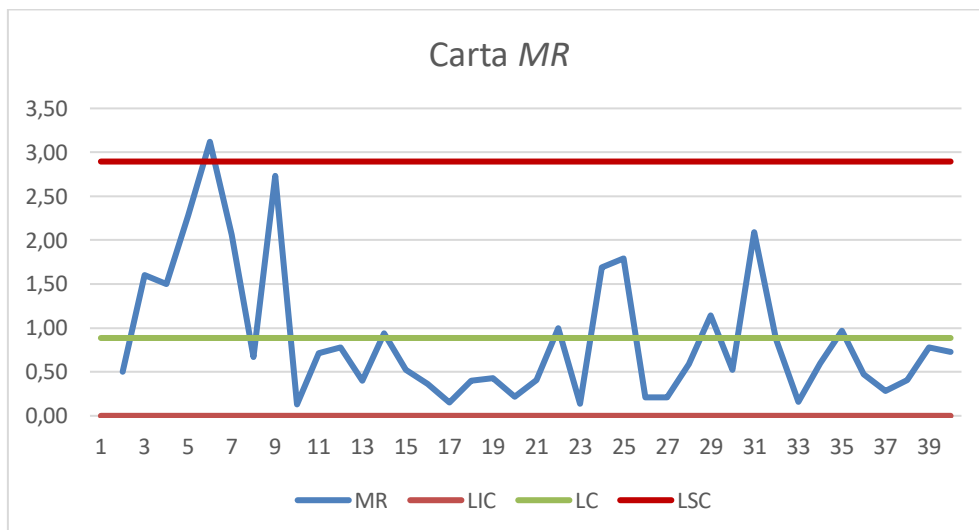


Figura 32 - Carta de controlo para as amplitudes móveis (*MR*) da embaladora de cápsula.

Na carta de controlo da figura 31 nota-se que, há três pontos fora do limite superior de controlo, o conteúdo efetivo no início oscilou bastante e durante a produção os valores embalados apresentam-se acima do valor nominal, o que indica a presença de causas especiais de variação (regulação por excesso do processo) indicando o cumprimento de critérios legais, mas um excesso em relação aos interesses da empresa.

Na carta das amplitudes móveis da figura 32, apesar da notória subida repentina e de um ponto fora do limite superior de controlo, os valores durante a produção oscilam aleatoriamente em torno do limite central.

4.4.5 Conclusões sobre as cartas de controlo da qualidade

As cartas apresentadas foram construídas com os dados recolhidos e mostram os pontos correspondentes a esses mesmos dados. Logo, os limites estão muito bem ajustados aos pontos e outra coisa não seria de esperar. Por exemplo, relativamente à linha 5, trata-se dos mesmos pontos tal como apresentados na figura 23 mas com os limites dados pela especificação, e agora com limites ajustados ao funcionamento da máquina (Figura 31).

Através da análise das cartas de controlo verifica-se que o conteúdo embalado é sistematicamente superior ao valor nominal e também que, em quase todos os casos, existem razões para crer que há causas especiais de variação. É necessário encontrar as causas especiais desta variação e eliminá-las para estabilizar o processo.

Estas causas podem dever-se, essencialmente, a más práticas de controlo e a ajustamentos baseados em observações únicas. Assim, será necessário calibrar as máquinas e deixá-las operar em situação normal, sem proceder a qualquer ajuste (evitando, assim, causas especiais de variação causadas por más práticas de calibração). O controlo de rotina com novas amostras, preferencialmente com amostras de várias observações, e com utilização de cartas de controlo da qualidade irá permitir a deteção de outras causas especiais de variação e a sua eliminação, mantendo os processos sob controlo.

Deve também ter-se presente que, tal como visto através do cálculo do OEE, a baixa utilização das máquinas implica demasiados inícios de operação, contribuindo para o aumento da variabilidade dos processos.

5. CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO

As empresas precisam de identificar as potencialidades do processo de produção através de uma constante análise e reavaliação da qualidade produzida para uma busca continua da melhoria com a finalidade de reduzir ou eliminar desperdícios e minimizar custos. O objetivo deste projeto consistiu essencialmente na recolha e análise de dados relativos ao processo produtivo para uma possível melhoria. A aplicação tanto do indicador de eficiência global de equipamento como do diagrama de Pareto possibilitou uma maior perceção dos processos de embalamento que necessitam de aperfeiçoamento, garantindo melhores resultados para a empresa.

O indicador de OEE mede a capacidade fabril de produção instalada e determina a percentagem de potencial que ficou por aproveitar, como as embaladoras apresentam índices entre 65 e 70% significa que a empresa está a desperdiçar 30 a 35% do seu

potencial. Os indicadores de disponibilidade e performance apresentam valores mais baixos e como são influenciados por paragens não programadas, é importante saber quais são os principais motivos de paragens de cada linha. Nesse sentido, o diagrama de Pareto ajudou a identificar os problemas mais importantes a focar futuramente para melhoria dos índices de produtividade da empresa. Nas linhas 1 e 2 os principais motivos de paragem são propositados, contudo, o problema do defeito do filme pode ocorrer por falta de qualidade e pode ser solucionado com o aumento do controlo do material de embalagem. Nas linhas 4 e 5 as principais paragens não são planeadas, pelo que, afetam diretamente a eficiência do equipamento. Neste caso torna-se necessário o uso de ferramentas como *brainstorming* ou diagrama de causa e efeito para apurar as causas dessas paragens.

Em relação ao estudo da capacidade dos processos, as quatro linhas de embalamento cumprem, claramente, com a especificação uma vez que apresentam uma boa capacidade de processo, superior a 1,33 e o mesmo se verifica em relação ao nível sigma, todos os processos analisados apresentam um nível sigma alto. Apesar dos valores de C_p serem, significativamente superiores aos de P_p , os testes F apresentam *p.values* inferiores a 0,05 o que indica a existência de causas especiais de variação. Assim, é necessário encontrar as causas especiais desta variação e eliminá-las para estabilizar o processo. Verificou-se que estas causas consistem essencialmente nas más práticas de controlo, que não usam cartas de controlo, e se baseiam em ajustamentos baseados em observações únicas.

Assim, será necessário calibrar as máquinas e deixá-las operar em situação normal, sem proceder a qualquer ajuste (evitando, assim, causas especiais de variação), recolher novas amostras e calcular os parâmetros de cada máquina, eventualmente recalculando os limites inferior e superior de controlo.

A adoção, por parte da empresa, de cartas de controlo para a variação do peso médio é essencial para observar o comportamento do peso médio ao longo tempo e, quando se verificar uma alteração aos limites propostos, atuar de imediato para eliminar o problema. A construção de procedimentos internos que indiquem o modo como se calibram as balanças das embaladoras e os pontos onde se irá fazer limpeza são procedimentos a aplicar.

As sugestões descritas neste trabalho apontam alternativas para os erros percebidos, buscando, assim, a melhoria na produção dos processos, tornando-os mais produtivos. A metodologia proposta para a melhoria da eficiência da produção e redução de desperdício irá ser testada na prática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alves, M. R. (2016a). Controlo metrológico de alimentos pré-embalados. Parte I: Portaria 1198/91 e DL 199/2008. *Tecnoalimentar*, 59–66.
- Alves, M. R. (2016b). Controlo metrológico de alimentos pré-embalados (Parte II) Prespetiva 6-sigma para o controlo industrial de rotina. *Tecnoalimentar*, 7, 59–64.
- Alves, M. R. (2016c). Ferramentas da Qualidade para a Indústria Alimentar. Parte 5: Inspeção de lotes por atributos. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- Alves, M. R. (2017). Estudo dos Processos - Projetos 6-Sigma. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- Alves, M. R. (2019a). Capacidade de Processos com Variáveis Normais. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- Alves, M. R. (2019b). Funções Seis-Sigma para o Estudo de Processos. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- Alves, M. R. (2019c). Projetos seis-sigma com variáveis normais. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- Alves, M. R. (2019d). Vinheta: Funções Seis-Sigma para o estudo de processos. *Cadernos de Ciência, Tecnologia e Gestão*.
- António, N. S., & Teixeira, A. (2007). *Gestão da Qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência de EFQM* (1ª Edição). Sílabo.
- Baía, A. P. (2013). *Melhorar o processo produtivo para atingir as especificações do consumidor: empresa Nutrisoil Portugal*. 179–209. <http://hdl.handle.net/10314/3367>
- Bangert, M. (2012). The Cost of Quality. *Quality*, 51(11), 34–36. <https://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=aded2d95-f705-482e-98d1-36ef72e79eb7%40sessionmgr4008>
- Beckford, J. (2002). Part two: The quality gurus: Chapter 5: Philip B. Crosby. *Quality (Routledge)*, November, 53–64. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=17444147&site=eds-live>

- Branco, R. F. (2008). *O Movimento da Qualidade em Portugal*. Vida Económica.
- Chang, S. I., Yen, D. C., Chou, C. C., Wu, H. C., & Lee, H. P. (2012). Applying six sigma to the management and improvement of production planning procedure's performance. *Total Quality Management and Business Excellence*, 23(3/4), 291–308. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.657387>
- Chong, K. E., Ng, K. C., & Goh, G. G. G. (2015). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) through integration of Maintenance Failure Mode and Effect Analysis (maintenance-FMEA) in a semiconductor manufacturer: A case study. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385883>
- Coleman, S. (2008). Six Sigma: An opportunity for statistics and for statisticians. *Significance*, 5(2), 94–96. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2008.00300.x>
- Costa, A. R., Barbosa, C., Santos, G., & Rui Alves, M. (2019). Six Sigma: Main Metrics and R Based Software for Training Purposes and Practical Industrial Quality Control. *Quality Innovation Prosperity*, 23(2), 83–100. <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I2.1278>
- Courtois, A., Martin, C., & Pillet, M. (1997). *Gestão da Produção* (4.^a Edição). Lidel.
- Decreto-Lei 199/2008, Diário da República - I Série N°193, de 8 de outubro de 2008, p.7133-7136.
- Drake, D., Sutterfield, J., & Ngassam, C. (2008). The Revolution of Six-Sigma: An Analysis of Its Theory and Application. *Academy of Information & Management Sciences Journal*, 11(1), 29–44.
- Duret, D., & Maurice, P. (2009). *Qualidade Na Produção da Iso 9000 ao Seis Sigma* (1.^a Edição). Lidel.
- Gomes, P. J. P. (2004). A evolução do conceito de qualidade : serviços de informação. *Cadernos BAD*, 6–18. <https://www.bad.pt/publicacoes/index.php/cadernos/article/view/826>
- González, O., Cristina, Y., Gaitán, G., & Mauricio, I. (2018). Control estadístico de procesos en organizaciones del sector servicios. *Respuestas*, 23(1), 42–49. <https://doi.org/10.22463/0122820x.1500>

- Gupta, P., & Vardhan, S. (2016). Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: A case study. *International Journal of Production Research*, 54(10), 2976–2988. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1145817>
- Hedman, R., Subramaniyan, M., & Almström, P. (2016). Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE. *Procedia CIRP*, 57, 128–133. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.11.023>
- Instituto Português da Qualidade (2015). NP EN ISO 9000:2015 - Sistemas de gestão da qualidade: Fundamentos e vocabulário (3ª edição., pp. 1–58);
- Kuendee, P. (2017). Application of 7 quality control (7 QC) tools for quality management: A case study of a liquid chemical warehousing. *2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2017*, 106–110. <https://doi.org/10.1109/IEA.2017.7939188>
- Kumar, G. (2017). Six Sigma: A problem solving methodology. *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Mathematics and Statistics*, 36(2), 202–206. <https://doi.org/10.5958/2320-3226.2017.00022.4>
- Kume, H. (1993). *Métodos estatísticos para melhoria da qualidade*. Gente.
- Lisboa, J. V., & Gomes, C. F. (2006). *Gestão de Operações*. Vida Económica.
- Meltino. (2018). *Meltino café*. <https://meltino.com/> [Acedido em: 11 de fevereiro de 2019]
- Minitab. (2019). *Minitab*. <https://www.minitab.com/pt-br/> [Acedido em: 13 de julho de 2019]
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. Wiley.
- Montgomery, D. . . (2009). *Introduction To Statical Quality Control*. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010316\)40:6<9823::AID-ANIE9823>3.3.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010316)40:6<9823::AID-ANIE9823>3.3.CO;2-C)
- Pable, A., Lu, S., & Auerbach, J. (2010). Integrated qualitative/quantitative techniques for food product quality planning. *Journal of Food Quality*, 33(1), 112–129. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2009.00287.x>
- Pinto, A., & Soares, I. (2009). *Sistemas de Gestão da Qualidade – Guia para a sua*

- implementação* (1ª Edição). Edições Sílabo.
- Pinto, J. P. (2010). *Gestão das Operações na Indústria e nos Serviços* (3.ª Edição). Lidel.
- Pires, A. (2007). *Qualidade – Sistemas de Gestão da Qualidade* (3.ª Edição). Sílabo.
- Portaria 1198/91, Diário da República - I Série - B, Nº 291, de 18 de dezembro de 2008, p.6681-6684.
- Pyo, S. (2005). Choosing quality tools: 7 tools case. *Journal of Quality Assurance in Hospitality and Tourism*, 6(1–2), 1–8. https://doi.org/10.1300/J162v06n01_01
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2009). *The Six Sigma Handbook*. Mc Graw-Hill.
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Raman, R. S., & Basavaraj, Y. (2019). Defect reduction in a capacitor manufacturing process through six sigma concept: A case study. *Management Science Letters*, 9(2), 253–260. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.11.014>
- Razzaghi, M. (2016). *iSixSigma*. Understanding Process Sigma Level. <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/sigma-level/understanding-process-sigma-level/>
- Roldão, V. S., & Ribeiro, J. S. (2007). *Gestão das Operações - Uma Abordagem Integrada* (1ª Edição). Monitor.
- Rosa, M. J., Moura e Sá, P., & Sarrico, C. (2014). *Qualidade em Ação* (1.ª Edição). Sílabo.
- Santos, A., Ribeiro, I., Salve, A., Ji, C., Ferreira, L., & Hora, H. (2019). Indicador OEE e ferramentas da qualidade: uma aplicação integrada no processo de destilação de uma indústria de biotecnologia. *Exacta*, 17(2), 165–184. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v17n2.8183>
- Saraiva, M., & Teixeira, A. (Eds.). (2009). *Temas em Métodos Quantitativos - Qualidade - N.º 0* (1.ª Edição). Edições Sílabo.
- Sayuti, M., Juliananda, Syarifuddin, & Fatimah. (2019). Analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Minimize Six Big Losses of Pulp machine: A Case Study in Pulp and Paper Industries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012136>
- Smith, J. L. (2011). The Lasting Legacy of the modern quality giants. *Quality*, 50(10),

40–47.

- Solanki, M., & Desai, D. A. (2017). Literature Review on Six Sigma Quality Improvement Methodology. *Conference: 4th International Conference on Industrial Engineering(ICIE- 2017),SVNIT*.
https://www.researchgate.net/publication/322909108_Literature_Review_on_Six_Sigma_Quality_Improvement_Methodology#fullTextFileContent
- Stella, A. (2000). *ABCedário do Café*. Público.
- Wadsworth, Harrison Stephens, K., & Godfrey, B. (2001). *Modern Methods For Quality Control and Improvement*. Wiley.
- Wilcox, M. (2005). Shewhart, Walter. In Elsevier (Ed.), *Encyclopedia of Social Measurement* (p. 483). <https://doi.org/10.1016/B0-12-369398-5/00230-9>
- Zhu, X. (2011). Analysis and improvement of enterprise's equipment effectivenessbased on OEE. *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 4167–4171. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6067706>

ANEXOS

A.1 Constantes para cartas de controlo

Tabela 17 - Constantes para Cartas de Controlo.

Fonte: (Pires, 2007)

Dimensão da amostra	Carta para as médias			Carta para desvio padrão					Carta para amplitudes						Carta para valores individuais	
	Limites			Linha média	Limites				Linha média		Limites				Limites	
	A	A_2	A_3	c_4	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4	E_2	E_3
2	2,121	1,88	2,659	0,7979	0	3,267	0	2,606	1,128	0,853	0	3,686	0	3,267	2,660	3,760
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	0	2,568	0	2,776	1,693	0,888	0	4,358	0	2,575	1,772	3,385
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	0	2,266	0	2,088	2,059	0,880	0	4,698	0	2,282	1,457	3,256
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	0	2,089	0	1,964	2,326	0,864	0	4,918	0	2,115	1,290	3,191
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	0,03	1,970	0,029	1,874	2,534	0,848	0	5,078	0	2,004	1,184	3,153
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,833	0,205	5,203	0,076	1,924	1,109	3,129
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,820	0,387	5,307	0,136	1,864	1,054	3,109
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,808	0,546	5,394	0,184	1,816	1,010	3,095
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777	0,975	3,084
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,755	1,207	5,737	0,348	1,652		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,729	1,548	5,922	0,414	1,586		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,709	1,804	6,058	0,459	1,541		

A.2 Função *SS.Normais*

```
# *** FUNÇÃO SS.Normais vs3
# NECESSITA DE ** install.packages("nortest"); library("nortest") **
# PREPARADA PARA LER UM FICHEIRO DE DADOS COM AMOSTRAS DE
TAMANHOS IGUAIS
# OU DIFERENTES, ASSUMINDO AUTOMATICAMENTE CADA LINHA COMO
UMA AMOSTRA.
# ASSUME AMOSTRAS DE TAMANHO n=1 SE «amostras» IGUAL A Nº TOTAL
DE DADOS.
# EFECTUA TESTES À NORMALIDADE E À IGUALDADE DOS DESVIOS
PADRÃO.
# FAZ UM HISTOGRAMA E DESENHA CURVAS NORMAIS
CORRESPONDENTES AO DPcomum E
# AO DPglobal. FAZ DIAGRAMA EM ORDEM AO TEMPO. CALCULA AS
MÉTRICAS RELATIVAS
# AO CURTO E LONGO PRAZO. SE «tabelas=FALSE», APRESENTA APENAS AS
MÉTRICAS
```

```
SS.Normais <- function(VN,EA,file,amostras,Tabelas=FALSE) {

  if ((missing(amostras)==TRUE)|| (missing(VN)==TRUE)|| (missing(EA)==TRUE)||
      (missing(file)==TRUE)) {cat("\n\nHá argumentos em falta!!!\n\n");stop}
  par(mfrow=c(1,2)) # para fazer os dois gráficos
  m <- length(x <- scan(file=file,quiet=TRUE,comment.char="#")) # N valores

  # amostras de várias observações (n>1) *****
  if (amostras != m) {
    Size<-c(); x.bar<-c(); s<-c(); s2<-c(); sqd<-c(); r<-c(); T<-c()
    for (i in 1:amostras) {
      row <- scan(file=file,skip=i-1,nlines=1,quiet=TRUE) # 1 linha
      Size <- c(Size,length(row)) # vector c/ tamanhos das amostras
      x.bar <- c(x.bar,mean(row)) # vector com médias das amostras
      s <- c(s,sd(row)) # vector c/ desvios das amostras
      s2 <- c(s2,var(row)) # vector c/ variâncias das amostras
      r <- c(r,max(row)-min(row)) # vector c/ amplitudes das amostras
      sqd <- c(sqd,((length(row)-1)*var(row))) # vec c/ sqd das amostras
    }
    # tabela com dados por amostra, mostradas se Tabelas != de FALSE
    Tabela1 <- data.frame(Size,x.bar,s,s2,sqd,r) # resultados por amostra
    names(Tabela1) <- c("n","x.bar","s","s2","sqd","r")
    # valores seguintes são ponderados pelos tamanhos das amostras
    Media <- sum(Tabela1$n*Tabela1$x.bar)/sum(Tabela1$n)
    DPcomum <- sqrt(sum(Tabela1$sqd/(sum(Tabela1$n)-amostras)))
    DPglobal <- sd(x)
    Tabela2 <- data.frame(amostras,Media,DPcomum,DPglobal)
    if (Tabelas != FALSE) {
      cat("\nTabela de resultados gerais\n")
      cat("-----\n")
    }
  }
}
```

```

print.table(Tabela2)
cat("\nTabela de resultados por amostra\n")
cat("-----\n")
print(Tabela1)
}
# gráfico temporal com médias de amostras e valores individuais
amp <- max(x)-min(x)
ymax <- max(max(x)+0.2*amp,VN+1.2*EA)
ymin <- min(min(x)-0.2*amp,VN-1.2*EA)
Temp <- rep(c(1:amostras),times=Size)
plot(Temp,x,col=4,ylim=c(ymin,ymax),xlim=c(0,amostras+1),
     main="",xlab="",ylab="",pch=20,cex=1) # plot individuais
par(new=TRUE)
Temp <- seq(1:amostras) # numerar as amostras
plot(Temp,x.bar,col=2,type="b",cex=2,
     main="Variação temporal",
     xlab="KPI (conteúdos)",ylab="observações",pch=20,
     ylim=c(ymin,ymax),xlim=c(0,amostras+1))
abline(h=c(VN,VN-EA,VN+EA),col=3)

} else {
# amostras de 1 só observação *****
r <- c() # vector para amplitudes móveis
for (i in 2:amostras) {r <- c(r,abs(x[i]-x[i-1]))}
Media <- mean(x) # média global
r.bar <- mean(r) # média das amplitudes móveis
DPcomum <- r.bar/1.128 # desvio comum
DPglobal <- sd(x) # desvio global
if (Tabelas != FALSE) {
  Tabela4 <- data.frame(amostras,Media,r.bar,DPcomum,DPglobal)
  cat("\nTabela de resultados de amostras de uma só observação\n")
  cat("-----\n")
  print.table(Tabela4)

  cat("\nAmplitudes entre amostras de uma só observação\n")
  cat("-----\n")
  print(round(r,4))
}
# gráfico temporal com valores individuais (1 só observação)
amp <- max(x)-min(x)
ymax <- max(max(x)+0.2*amp,VN+1.2*EA)
ymin <- min(min(x)-0.2*amp,VN-1.2*EA)
Temp <- seq(1:amostras)
plot(Temp,x,main="Variação temporal",
     xlab="KPI (amostras de n=1)",ylab="observações",col=4,type="b",
     pch=20,ylim=c(ymin,ymax))
abline(h=c(VN,VN-EA,VN+EA),col=3)
} # fim do "if" com os cálculos das métricas

# testes à normalidade dos dados *****

```

```

if (Tabelas != FALSE) {
  cat("\nTestes à normalidade dos dados\n")
  cat("-----\n\n")
  print(ad.test(x)); print(cvm.test(x))
  print(shapiro.test(x)); print(lillie.test(x))
}
# comparação de DPcomum com DPglobal *****
if (amostras == m){
  if (DPglobal >= DPcomum) {
    Fobs <- DPglobal^2/DPcomum^2; df1 <- m-1; df2 <- m-2
    p.value <- 1-pf(q=Fobs,df1=df1,df2=df2)
  } else {
    Fobs <- DPcomum^2/DPglobal^2; df1<-m-2; df2<-m-1
    p.value <- 1-pf(q=Fobs,df1=df1,df2=df2)
  }
} else {
  if (DPglobal >= DPcomum) {
    Fobs <- DPglobal^2/DPcomum^2; df1 <- m-1; df2 <- m-amostras
    p.value <- 1-pf(q=Fobs,df1=df1,df2=df2)
  } else {
    Fobs <- DPcomum^2/DPglobal^2
    df1<-length(x)-amostras; df2<-length(x)-1
    p.value <- 1-pf(q=Fobs,df1=df1,df2=df2)
  } }
if (Tabelas != FALSE) {
  cat("\nTeste à igualdade de DPcomum e DP global\n")
  cat("-----\n\n")
  cat("nota: há diferença entre DPcomum e DPglobal se p.value < 0.05")
  cat("\nFobs =",Fobs,"   p.value =",p.value,"\n")
}

# métricas *****

# dados para tabela com especificação
LIE<-VN-EA; LSE<-VN+EA; AmpEsp<-LSE-LIE
Tabela.Esp <- data.frame(LIE,VN,LSE,EA,AmpEsp)
names(Tabela.Esp) <- c("LIE","VN","LSE","EA","Amplitude")
cat("\nTabela com especificação\n")
cat("-----\n\n")
print.table(Tabela.Esp)

# para tabela com valores efetivamente observados
LIPo <- min(x); LSPo <- max(x); AmpPro.o <- LSPo-LIPo
PPMi.o <- 1000000*length(x[x<LIE])/m
PPMs.o <- 1000000*length(x[x>LSE])/m
PPMt.o <-PPMi.o + PPMs.o
Tabela.o <- data.frame(LIPo,LSPo,PPMi.o,PPMs.o,PPMt.o)
names(Tabela.o) <- c("LIPobs","LSPobs","PPM<LIE","PPM>LSE","PPMt")
cat("\nTabela com performance observada\n")
cat("-----\n\n")

```

```

print.table(Tabela.o)

# para tabelas de curto prazo
LIPcp<-Media-3*DPcomum; LSPcp<-Media+3*DPcomum; AmpPro.cp<-LSPcp-
LIPcp
Cp<-AmpEsp/AmpPro.cp; Cpi<-(LIE-Media)/(3*DPcomum)
Cps<-(LSE-Media)/(3*DPcomum)
if (abs(Cpi)>=abs(Cps)) {Cpk=Cps}else{Cpk=Cpi}
PPMi.c <- 1000000*pnorm(q=LIE,mean=Media,sd=DPcomum)
PPMs.c <- 1000000*(1-pnorm(q=LSE,mean=Media,sd=DPcomum))
PPMt.c <- PPMi.c+PPMs.c
Disp.c <- 100*(1/Cp)
Zsigma.c <- abs(qnorm(p=PPMt.c/1000000,mean=0,sd=1))
Tabela.cp <- data.frame(LIPcp,Media,LSPcp,DPcomum,AmpPro.cp)
names(Tabela.cp) <- c("LIPc","Média","LSPc","DPcomum","Amplitude")
cat("\nCapacidade potencial e Desempenho (curto prazo)\n")
cat("-----\n")
print.table(Tabela.cp); cat("\n")
Metricas.cp <- data.frame(Cp,Cpi,Cps,Cpk)
print.table(Metricas.cp); cat("\n")
Tabela.Des.c <- data.frame(PPMi.c,PPMs.c,PPMt.c,Disp.c,Zsigma.c)
names(Tabela.Des.c) <- c("PPM<LIE","PPM>LSE","PPMt","D(%)","Zbench")
print.table(Tabela.Des.c)

# para tabelas de longo prazo
LIPlp<-Media-3*DPglobal; LSPlp<-Media+3*DPglobal; AmpPro.lp<-LSPlp-LIPlp
Pp<-AmpEsp/AmpPro.lp; Ppi<-(LIE-Media)/(3*DPglobal)
Pps<-(LSE-Media)/(3*DPglobal)
if (abs(Ppi)>=abs(Pps)) {Ppk=Pps}else{Ppk=Ppi}
PPMi.g <- 1000000*pnorm(q=LIE,mean=Media,sd=DPglobal)
PPMs.g <- 1000000*(1-pnorm(q=LSE,mean=Media,sd=DPglobal))
PPMt.g <- PPMi.g+PPMs.g
Disp.g <- 100*(1/Pp)
Zsigma.g <- abs(qnorm(PPMt.g/1000000,mean=0,sd=1))
Tabela.lp <- data.frame(LIPlp,Media,LSPlp,DPglobal,AmpPro.lp)
names(Tabela.lp) <- c("LIPg","Média","LSPg","DPglobal","Amplitude")
cat("\nPerformance do processo e Desempenho (longo prazo)\n")
cat("-----\n")
print.table(Tabela.lp); cat("\n")
Metricas.lp <- data.frame(Pp,Ppi,Pps,Ppk)
print.table(Metricas.lp); cat("\n")
Tabela.Des.g <- data.frame(PPMi.g,PPMs.g,PPMt.g,Disp.g,Zsigma.g)
names(Tabela.Des.g) <- c("PPM<LIE","PPM>LSE","PPMt","D(%)","Zbench")
print.table(Tabela.Des.g)

# histograma *****
# limites do gráfico com histograma
multiplier <- hist(x,plot=F)$counts[1]/hist(x,plot=F)$density[1]
Upper1 <- max(hist(x,plot=F)$counts)*1.1
Upper2 <- multiplier*dnorm(Media,Media,DPcomum)*1.1

```

```

Upper3 <- multiplier*dnorm(Media,Media,DPglobal)*1.1
Upper <- max(Upper1,Upper2,Upper3); Lower <- (-1)*Upper/4
Left <- LIE-EA/2; Right <- LSE+EA/2
# histograma
hist(x,xlim=c(Left,Right),ylim=c(Lower,Upper),col="grey",
     xlab="KPI (conteúdos)",ylab="esperados,observados",
     main="Histograma vs Estimativas")
# curvas normais
par(new=TRUE)
plot(function(x) multiplier*dnorm(x,mean=Media,sd=DPglobal),
     xlim=c(Left,Right),ylim=c(Lower,Upper),col="orange",lwd=2,xlab="",
     ylab="",main="")
par(new=TRUE)
plot(function(x) multiplier*dnorm(x,mean=Media,sd=DPcomum),
     xlim=c(Left,Right),ylim=c(Lower,Upper),col=4,lwd=2,xlab="",
     ylab="",main="")
abline(h=0)
# defeituosos longo prazo
a <- seq(from=Left-2*EA,to=LIE,length=100)
b <- multiplier*dnorm(a,mean=Media,sd=DPglobal)
arco <- c(0,b,0); eixo <- c(from=Left-2*EA,a,to=LIE)
polygon(x=eixo,y=arco,border="orange",lwd=2,col="orange")
a <- seq(from=LSE,to=Right+2*EA,length=100)
b <- multiplier*dnorm(a,mean=Media,sd=DPglobal)
arco <- c(0,b,0); eixo <- c(from=LSE,a,to=Right+2*EA)
polygon(x=eixo,y=arco,border="orange",lwd=2,col="orange")
# defeituosos curto prazo
a <- seq(from=Left-2*EA,to=LIE,length=100)
b <- multiplier*dnorm(a,mean=Media,sd=DPcomum)
arco <- c(0,b,0); eixo <- c(from=Left-2*EA,a,to=LIE)
polygon(x=eixo,y=arco,border="blue",lwd=2,col="blue")
a <- seq(from=LSE,to=Right+2*EA,length=100)
b <- multiplier*dnorm(a,mean=Media,sd=DPcomum)
arco <- c(0,b,0); eixo <- c(from=LSE,a,to=Right+2*EA)
polygon(x=eixo,y=arco,border="blue",lwd=2,col="blue")
# especificação
segments(x0=LIE,y0=0,x1=LSE,y1=0,col=2,lwd=2)
segments(x0=c(LIE,VN,LSE),y0=Lower/3,
        x1=c(LIE,VN,LSE),y=-Lower/6,col=2,lwd=2)
text(x=c(LIE,VN,LSE),y=Lower/3,labels=c("LIE","VN","LSE"),
     col=2,pos=1)

} # *****

# exemplo
library("nortest")
SS.Normais(VN=500,EA=15,file="AIguais.txt",amostras=20,Tabelas=TRUE)

```