



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL



Utilização de ferramentas da qualidade na melhoria do desempenho da produção de masterbatches

BEATRIZ SILVA FALCÃO GONÇALVES RAPOSO
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu
Doutora Maria Clara Dantas Cramez

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Cardoso Igreja

Vogais:

Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes
Gaspar

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Mai de 2021



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Utilização de ferramentas da qualidade na melhoria do desempenho da produção de masterbatches

BEATRIZ SILVA FALCÃO GONÇALVES RAPOSO
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu
Doutora Maria Clara Dantas Cramez

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Cardoso Igreja

Vogais:

Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes
Gaspar
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Maio de 2021

Agradecimentos

Esta dissertação só foi possível graças à ajuda de várias pessoas.

À empresa Poliversal, agradeço a disponibilidade na disponibilização de toda a informação e recursos necessários para a elaboração desta dissertação.

Agradeço à minha orientadora na empresa, Doutora Maria Clara Dantas Cramez, pela ajuda, motivação e dedicação.

Agradeço ao meu orientador académico, António João Pina da Costa Feliciano Abreu pela ajuda no esclarecimento de dúvidas e orientações prestadas.

À minha família pelo suporte dado ao longo desta jornada académica, foram sem dúvida um fator muito importante para conseguir alcançar todas as etapas a que me propôs.

Um agradecimento especial a todos os colaboradores da empresa Poliversal, que sempre estiveram disponíveis para ajudar no que fosse necessário.

Resumo

Na presente dissertação de mestrado desenvolveu-se o tema “Utilização de ferramentas da qualidade na melhoria do desempenho da produção de masterbatches” no âmbito do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

A realização deste trabalho teve como objetivo identificar as causas de ocorrência de lotes com cor não conforme durante o fabrico de concentrados de cor em base polimérica – masterbatches (MB). Pretendeu-se também verificar se o processo de fabrico consegue cumprir com as especificações dos clientes, e analisar as vantagens da utilização de cartas de controlo.

As ferramentas de controlo utilizadas foram aplicadas às coordenadas de cor do sistema CIE Lab, usadas para quantificar a cor dos produtos.

Foram identificadas as causas de variação e de erro mais prováveis de ocorrer no processo produtivo e representaram-se num diagrama de Ishikawa.

Através da análise de dados referentes aos lotes produzidos não conformes referentes aos anos de 2013, 2014 e 2020, verificou-se, através de um diagrama de Pareto, que as causas de falha mais frequentes foram o *scale up* industrial dos produtos, mudanças associadas às matérias-primas utilizadas e contaminações durante o processo de fabrico.

O controlo estatístico do processo foi aplicado a três produtos com um elevado número de lotes corrigidos e com propriedades diferentes entre eles (polímero base, cor, composição e aplicação final).

Utilizaram-se cartas de Shewart (cartas de observações individuais e amplitudes móveis) para a identificação e eliminação dos pontos fora de controlo estatístico e para o cálculo dos limites de controlo.

Analisou-se a capacidade de o processo cumprir as especificações dos clientes assim como a probabilidade de serem produzidos lotes não conformes. Para dois dos produtos estudados, verificou-se que os intervalos de especificação definidos pelos clientes são mais apertados do que a variabilidade natural do processo. Desta forma é necessário implementar medidas que permitam diminuir a variabilidade e consequentemente aumentar a capacidade do processo. Sugerem-se medidas para diminuir a variabilidade normal do processo, como manter constante o tamanho dos lotes produzidos e o tipo de equipamento utilizado na produção dos vários lotes.

Analisou-se para um quarto produto com um baixo número de dados a relevância das cartas de pré-controlo. Verificou-se que são uma mais-valia para produtos com poucos dados.

Foi avaliada a relevância da utilização de cartas de controlo em futuras produções, tendo-se concluído que a aplicação de cartas de controlo ao processo é uma mais-valia para a empresa, uma vez que permite detetar produtos não conformes e distinguir as causas de variação normais das anormais.

Palavras-chave: Qualidade, Ferramentas da qualidade, Masterbatch, Cartas de Controlo, Causas Normais Causas Anormais, Especificações; SPC; Lotes não conformes.

Abstract

In this master's thesis, the theme "Application of quality tools to optimize the production process of masterbatches" was developed within the scope of the Master's degree in Engineering and Industrial Management at the Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

The objective of this work was to identify the causes of occurrence of lots with non-conforming color during the manufacture of color concentrates in polymeric base - masterbatches (MB). It was also intended to check whether the manufacturing process can comply with customer specifications, and to analyse the advantages of using control charts.

The control tools used were applied to the color coordinates of the CIE Lab system, used to quantify the color of the products.

The causes of variation and error most likely to occur in the production process were identified and were represented in an Ishikawa diagram.

Through the analysis of data referring to non-conforming produced lots for the years 2013, 2014 and 2020, it was verified, through a Pareto diagram, that the most frequent causes of failure were the industrial scale up of the products, changes associated with the raw materials used and contamination during the manufacturing process.

The statistical control of the process was applied to three products with a high number of corrected batches and with different properties between them (base polymer, color, composition, and final application).

Shewart letters (individual observation charts and moving ranges) were used for the identification and elimination of points outside statistical control and for the calculation of control limits.

The ability of the process to meet customer specifications as well as the probability of non-compliant batches to be produced was analyzed. For two of the products studied, it was found that the specification intervals defined by the customer are tighter than the natural variability of the process. In this way it is necessary to implement measures to reduce variability and consequently increase the capacity of the process. Measures are suggested to reduce the normal variability of the process, such as keeping constant the size of the lots produced and the type of equipment used in the production of the various lots.

A fourth product with a low number of data was analyzed on the relevance of pre-control charts. It has been found that they are an asset for products with little data.

The relevance of the use of control charts in future productions was assessed, and it was concluded that the application of control letters to the process is an added value for the company, since it allows the detecting of non-compliant products and distinguishing the causes of normal variation from abnormal ones.

Keywords: Quality, Quality Tools, Masterbatch, Control Charts, Normal Causes Abnormal Causes, Specifications; SPC; Non-compliant batches.

Lista de abreviaturas

$(Cp_k)_I$ - Índices de capacidade de processo inferior

$(Cp_k)_S$ - Índices de capacidade de processo superior

\bar{X}_{r-1} - Média de $(r - 1)$ observações

\bar{X}_t - Média da amostra t

C_p - Índice de capacidade potencial

Cp_k - Índice de capacidade do processo

Cp_m - Índice de capacidade potencial corrigido pelo desvio da média em comparação com o valor nominal

Cp_{mk} - Índice de capacidade corrigido pelo desvio da média em comparação com o valor nominal

D_3 e D_4 - Fatores para construção das cartas de controlo variáveis

$D_{critico}$ - Valor crítico para o teste de Kolmogorov-Smirnov

E_0 - Valor da variável $E(E_0 = \mu_Y)$

E_t - Média móvel exponencialmente amortecida para o instante t

$F_{1,\nu}$ - Função de distribuição de Fisher com 1 e ν graus de liberdade

F_r - Frequência relativas acumuladas

G_{r-2} - Função de distribuição t-student com $(r - 2)$ graus de liberdade

H_0 - Hipótese nula

MR_r - Amplitude móvel no instante r

N_T e N_C - Número de períodos consecutivos para T e C diferentes de 0

P_i - Frequência acumulada para a observação i

S_r - Desvio padrão no instante r , é obtido pela equação

S_{r-1} - Desvio padrão $(r - 1)$ observações, obtido através da seguinte equação

X_r - Observação no instante r

Y_t - Valor da variável Y no instante t

Z_t - Variável Normal reduzida referente a \bar{X}_t

f_a - Frequência absoluta

f_r - Frequência relativa

σ_E^2 - Variância da variável E

ϕ^{-1} - Inverso da função de distribuição normal

ΔE - Valor total da diferença de cor

ΔL - Diferença do valor entre claro e escuro, + é mais claro e – é mais escuro

Δa - Diferença entre o eixo vermelho/ verde, + é mais vermelho e – mais verde

Δb - Diferença entre o eixo amarelo/ azul, + mais amarelo e – mais azul

a^* - Coordenada vermelho / verde

ABS - Acrilonitrilo-butadieno-estireno

b^* - Coordenada amarelo / azul

d_2 - Fator para construção das cartas de controlo variáveis

DOE - Desenho de experiências

FMEA - Análise de modo e efeito de falha

L^* - Coordenada da luminosidade (branco/ preto)

MB - Masterbatch

MBs - Masterbatchs

PDPC - Diagrama de decisão do processo

PE - Polietileno

PP - Polipropileno

PS - Poliestireno

PS-HI - Poliestireno de alto impacto

SAN - Estireno Acrilonitrilo

SPC - Controlo Estatístico do Processo

TPM - Manutenção produtiva total

TQM - Gestão pela qualidade total

VM - Gestão visual

VSM - Mapa do fluxo de valor

Δa - Diferença em mais vermelho ou mais verde

D - Estatística de teste de Kolmogorov-Smirnov

H - Amplitude total dos dados observados

K - Constante (nível de controlo) para um determinado λ e $ARL_{EmControlo}$

K - Número de classes

LC - Limite de Controlo

LIC - Limite Inferior de Controlo

LIE - Limite Inferior de Especificação

LSC - Limite Superior de Controlo

LSE - Limite Superior de Especificação

N - Número total de observações

R - Amplitude

Z - Variável reduzida padronizada

i - Posição/ nível da observação

k - Valor de referência

m - Amostra

n - Dimensão da amostra

λ - Constante de amortecimento

μ - Média

σ - Desvio padrão do processo

ω - Estatística

LC_{PC} - Limite central de pré-controlo

PC_S - Linha pré-controlo superior

PC_I - Linha de pré-controlo inferior

Índice

1.	Introdução	18
1.1.	Enquadramento e Motivação.....	18
1.2.	Objetivos	19
1.3.	Estrutura do documento	19
2.	Fundamentos teóricos.....	21
2.1.	Qualidade	21
2.1.1.	Conceitos.....	21
2.1.2.	Evolução da qualidade	22
2.1.3.	Metodologia 6 sigma.....	25
2.1.4.	Importância para a organização da implementação de um sistema de gestão da qualidade	27
2.2.	Ferramentas da Qualidade.....	28
2.2.1.	Ferramentas estratégicas	30
2.2.2.	Ferramentas básicas da qualidade	32
2.2.3.	Ferramentas de Gestão e Planeamento	37
2.2.4.	Outras Ferramentas para a melhoria da Qualidade.....	40
2.3.	Controlo estatístico do processo.....	44
2.3.1.	Regras de deteção de causas especiais	46
2.3.2.	Cartas de controlo tradicionais	47
2.3.3.	Capacidade do processo	51
2.3.4.	Cartas de controlo Especiais	53
2.3.5.	Controlo estatístico para “pequenas produções”	55
2.3.6.	Distribuição normal.....	60
3.	Caso de estudo	63
3.1.	Enquadramento	63
3.1.1.	Matérias-primas – plásticos e aditivos	63
3.1.2.	Operações de composição	64
3.2.	Descrição do processo de fabrico.....	64
3.2.1.	Processo de fabrico	65
3.3.	Caracterização dos produtos.....	69

3.4.	Correções em curso de produção	73
4.	Parte experimental.....	75
4.1.	Recolha de dados.....	75
4.2.	Tratamento de dados. Ferramentas da qualidade utilizadas	76
4.2.1.	Identificação das causas	76
4.2.2.	Determinação das causas mais prováveis.....	76
4.2.3.	Avaliação da variabilidade do processo de fabrico	76
4.3.	Apresentação e discussão dos resultados	77
4.3.1.	Identificação de causas.....	77
4.3.2.	Determinação das causas mais prováveis.....	80
4.3.3.	Avaliação da variabilidade do processo de fabrico	83
4.3.4.	Aplicação da carta de pré-controlo.....	126
5.	Conclusões e trabalhos futuros.....	129
5.1.	Conclusões	129
5.2.	Trabalhos futuros	131
6.	Referências Bibliográficas	133
I.	Anexo.....	138
II.	Anexo.....	156
III.	Anexo.....	175

Índice de Figuras

Figura 1.1- Poliversal - Plásticos e Tecnologia, S.A.	18
Figura 1.2- Esquema do processo de fabrico com redução dos fatores de risco.....	19
Figura 2.1- Evolução da qualidade (Hamid et al., 2019).....	23
Figura 2.2- Método DMAIC.....	26
Figura 2.3- Método DMADV.....	26
Figura 2.4- Ciclo PDCA.	27
Figura 2.5- 5 Forças de Porter.	30
Figura 2.6- Análise Swot.	31
Figura 2.7- Manutenção total produtiva.	31
Figura 2.8- Diagrama Causa Efeito.	33
Figura 2.9- Diagrama de Pareto.....	34
Figura 2.10- Gráfico de dispersão.	34
Figura 2.11- Carta de controlo tradicional.....	35
Figura 2.12- Fluxograma.	35
Figura 2.13- Histograma.....	36
Figura 2.14- Folha de registo e verificação.	37
Figura 2.15- Diagrama de afinidades.	37
Figura 2.16- Diagrama de relações.....	38
Figura 2.17- Diagrama em árvore.....	38
Figura 2.18- Diagrama matricial de 2 conjuntos.	39
Figura 2.19- Gráfico de decisão do processo.....	39
Figura 2.20- Matriz de prioridades.....	39
Figura 2.21- Exemplo implementação 5 porquês.	40
Figura 2.22- Ferramenta 5S.....	40
Figura 2.23- Formulário FMEA.	41
Figura 2.24- Ciclo Kaizen.	42
Figura 2.25- Sistema Kanban.	42
Figura 2.26- Relatório A3.....	43
Figura 2.27- Mapeamento do fluxo de valor.	44

Figura 2.28- Regras de detecção para causas especiais, padrões não aleatórios (Adaptado da norma ISO 8258:1991).	46
Figura 2.29- Zonas de detecção especial.....	47
Figura 2.30- Zonas da carta de pré-controlo.....	50
Figura 2.31- Metodologia de escolha da carta de controlo mais adequada para pequenas produções (adaptado de Pereira & Requeijo, 2012).....	56
Figura 3.1- Fluxograma do processo produtivo de masterbatches.....	65
Figura 3.2- Misturadora.....	66
Figura 3.3- Linha de extrusão com extrusora (1), banho de arrefecimento (2) e granuladora (3).	67
Figura 3.4- Material após ser extrudido.....	67
Figura 3.5- Grânulo após sair do granulador.	67
Figura 3.6- Produto acabado em sacos de 25kg.	68
Figura 3.7- Fluxograma do processo de controlo da qualidade.	69
Figura 3.8- Espectrofotómetro Colormetrix Datacolor 600.....	70
Figura 3.9- Placas de vários produtos injetadas para controlo de qualidade.	70
Figura 3.10- Câmara de luz.	71
Figura 3.11- CIE L*a*b* (Bino, 2020)	72
Figura 3.12- Efeito da correção em curso de produção no valor das coordenadas de cor Lab, para um lote não conforme do produto MB 29144 Beige.	73
Figura 4.1- Diagrama de Ishikawa para o processo produtivo.	78
Figura 4.2- Diagrama de Pareto para o ano de 2013	80
Figura 4.3- Diagrama de Pareto para o ano de 2013 com um $\Delta E > 1$	81
Figura 4.4- Diagrama de Pareto para o ano de 2014.	81
Figura 4.5- Diagrama de Pareto para o ano de 2014 com um $\Delta E > 1$	82
Figura 4.6- Diagrama de Pareto para o ano de 2020.	82
Figura 4.7- Diagrama de Pareto para o ano de 2020 com um $\Delta E > 1$	83
Figura 4.8- Produto A.....	84
Figura 4.9- Produto B.....	84
Figura 4.10- Produto C.....	84
Figura 4.11- Placa 1 conforme para o produto A.	85
Figura 4.12- Placa 2 não conforme para o produto A.....	85
Figura 4.13- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica L*.....	86

Figura 4.14- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica a*.	87
Figura 4.15- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica b*.	87
Figura 4.16- Carta X para o produto A, característica L* (53 pontos).	88
Figura 4.17- Carta MR para o produto A, característica L* (53 pontos).	88
Figura 4.18- Carta X para o produto A, característica a* (53 pontos).	89
Figura 4.19- Carta MR para o produto A, característica a* (53 pontos).	90
Figura 4.20- Carta X para o produto A, característica b* (53 pontos).	90
Figura 4.21- Carta MR para o produto A, característica b* (53 pontos).	91
Figura 4.22- Carta X para o produto A, característica (31 pontos).	92
Figura 4.23- Carta MR para o produto A, característica L* (31 pontos).	92
Figura 4.24- Carta X para o produto A, característica a*(31 pontos).	92
Figura 4.25- Carta MR para o produto A, característica a* (31 pontos).	93
Figura 4.26- Carta X para o produto A, característica b* (31 pontos).	93
Figura 4.27- Carta MR para o produto A, característica b* (31 pontos).	93
Figura 4.28- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica L*.	94
Figura 4.29- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica a*.	94
Figura 4.30- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica b*.	95
Figura 4.31- Histograma para o produto A, característica L*.	95
Figura 4.32- Histograma para o produto A, característica a*.	96
Figura 4.33- Histograma para o produto A, característica b*.	96
Figura 4.34- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente A e B para o produto A, característica L*.	98
Figura 4.35- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelos clientes A e B para o produto A, característica a*.	99
Figura 4.36- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelos clientes A e B para o produto A, característica b*.	99
Figura 4.37- Orlas, antes e após colocação nos tampos.	100
Figura 4.38- Placa 1 conforme para o produto B.	102
Figura 4.39- Placa 2 não conforme para o produto B.	102
Figura 4.40- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica b*.	103
Figura 4.41- Carta X para o produto B, característica L* (62 pontos).	104
Figura 4.42- Carta MR para o produto B, característica L* (62 pontos).	104

Figura 4.43- Carta X para o produto B, característica a* (62 pontos)	105
Figura 4.44- Carta MR para o produto B, característica a* (62 pontos).....	105
Figura 4.45 - Carta X para o produto B, característica b* (62 pontos).....	106
Figura 4.46- Carta MR para o produto B, característica b* (62 pontos).....	106
Figura 4.47- Carta X para o produto B, característica L* (34 pontos).	107
Figura 4.48- Carta MR para o produto B, característica L* (34 pontos).	107
Figura 4.49- Carta X para o produto B, característica a* (34 pontos).	108
Figura 4.50- Carta MR para o produto B, característica a* (34 pontos).....	108
Figura 4.51- Carta X para o produto B, característica b* (34 pontos).....	108
Figura 4.52- Carta MR para o produto B, característica b* (34 pontos).....	109
Figura 4.53- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto B, característica b*.	111
Figura 4.54-Modura para aquários produzido com o produto B.	111
Figura 4.55- Placa conforme para o produto C.....	113
Figura 4.56- Placa não conforme para o produto C.....	113
Figura 4.57- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica L*.	113
Figura 4.58- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica a*.....	114
Figura 4.59- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica b*.	114
Figura 4.60- Carta X para o produto C, característica L* (33 pontos).	115
Figura 4.61- Carta MR para o produto C, característica L* (33 pontos).	116
Figura 4.62- Carta X para o produto C, característica a* (33 pontos).	116
Figura 4.63- Carta MR para o produto C, característica a* (33 pontos).....	117
Figura 4.64- Carta X para o produto C, característica b* (33 pontos).....	117
Figura 4.65- Carta MR para o produto C, característica b* (33 pontos).....	118
Figura 4.66- Carta X para o produto C, característica L* (17 pontos).	119
Figura 4.67- Carta MR para o produto C, característica L* (17 pontos).	119
Figura 4.68- Carta X para o produto C, característica a* (17 pontos).	119
Figura 4.69- Carta MR para o produto C, característica a* (17 pontos).....	120
Figura 4.70- Carta X para o produto C, característica b* (17 pontos).....	120
Figura 4.71- Carta MR para o produto C, característica b* (17 pontos).....	120
Figura 4.72- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica L*.	123

Figura 4.73- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica a*.	123
Figura 4.74- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica b*.	124
Figura 4.75- Produto D.	126
Figura 4.76- Carta de pré-controlo para o produto D, característica L*.	127
Figura 4.77- Carta de pré-controlo para o produto D, característica a*.	127
Figura 4.78- Carta de pré-controlo para o produto D, característica b*.	128
Figura I.1- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica L*.	148
Figura I.2- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica a*.	148
Figura I.3- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica b*.	148
Figura I.4- Histograma para o produto B, característica L*.	149
Figura I.5- Histograma para o produto B, característica a*.	149
Figura I.6- Histograma para o produto B, característica b*.	149
Figura I.7- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica L*.	153
Figura I.8- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica a*.	153
Figura I.9- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica b*.	153
Figura I.10- Histograma para o produto C, característica L*.	154
Figura I.11- Histograma para o produto C, característica a*.	154
Figura I.12- Histograma para o produto C, característica b*.	154
Figura II.1- Carta X para o produto A, característica L* (41 pontos).	156
Figura II.2- Carta MR para o produto A, característica L* (41 pontos).	156
Figura II.3- Carta X para o produto A, característica a* (41 pontos).	157
Figura II.4- Carta MR para o produto A, característica a* (41 pontos).	157
Figura II.5- Carta X para o produto A, característica b* (41 pontos).	157
Figura II.6- Carta MR para o produto A, característica b* (41 pontos).	158
Figura II.7- Carta X para o produto A, característica L* (37 pontos).	158
Figura II.8- Carta MR para o produto A, característica L* (37 pontos).	158
Figura II.9- Carta X para o produto A, característica a* (37 pontos).	159
Figura II.10- Carta MR para o produto A, característica a* (37 pontos).	159
Figura II.11- Carta X para o produto A, característica b* (37 pontos).	159
Figura II.12- Carta MR para o produto A, característica b* (37 pontos).	160

Figura II.13- Carta X para o produto B, característica L* (58 pontos).....	160
Figura II.14- Carta MR para o produto B, característica L* (58 pontos).	160
Figura II.15- Carta X para o produto B, característica a* (58 pontos).	161
Figura II.16. Carta MR para o produto B, característica a* (58 pontos).	161
Figura II.17- Carta X para o produto B, característica b* (58 pontos).	161
Figura II.18- Carta MR para o produto B, característica b* (58 pontos).....	162
Figura II.19- Carta X para o produto B, característica L* (49 pontos).....	162
Figura II.20- Carta MR para o produto B, característica L* (49 pontos).	163
Figura II.21- Carta X para o produto B, característica a* (49 pontos).	163
Figura II.22- Carta MR para o produto B, característica a* (49 pontos).	163
Figura II.23- Carta X para o produto B, característica b* (49 pontos).	164
Figura II.24- Carta MR para o produto B, característica b* (49 pontos).....	164
Figura II.25- Carta X para o produto B, característica L* (42 pontos).....	164
Figura II.26- Carta MR para o produto B, característica L* (42 pontos).	165
Figura II.27- Carta X para o produto B, característica a* (42 pontos).	165
Figura II.28- Carta MR para o produto B, característica a* (42 pontos).	165
Figura II.29- Carta X para o produto B, característica b* (42 pontos).	166
Figura II.30- Carta MR para o produto B, característica b* (42 pontos).....	166
Figura II.31- Carta X para o produto B, característica L* (39 pontos).....	166
Figura II.32- Carta MR para o produto B, característica L* (39 pontos)	167
Figura II.33- Carta X para o produto B, característica a* (39 pontos)	167
Figura II.34- Carta MR para o produto B, característica a* (39 pontos)	167
Figura II.35- Carta X para o produto B, característica b* (39 pontos).	168
Figura II.36- Carta MR para o produto B, característica b* (39 pontos).....	168
Figura II.37- Carta X para o produto B, característica L* (36 pontos).....	168
Figura II.38- Carta MR para o produto B, característica L* (36 pontos).	169
Figura II.39- Carta X para o produto B, característica a* (36 pontos).	169
Figura II.40- Carta MR para o produto B, característica a* (36 pontos).	169
Figura II.41- Carta X para o produto B, característica b* (36 pontos).	170
Figura II.42- Carta MR para o produto B, característica b* (36 pontos).....	170
Figura II.43- Carta X para o produto C, característica L* (25 pontos).....	170

Figura II.44- Carta MR para o produto C, característica L* (25 pontos).	171
Figura II.45- Carta X para o produto C, característica a* (25 pontos).	171
Figura II.46- Carta MR para o produto C, característica a* (25 pontos).	171
Figura II.47- Carta X para o produto C, característica b* (25 pontos).	172
Figura II.48- Carta MR para o produto C, característica b* (25 pontos).	172
Figura II.49- Carta X para o produto C, característica L* (19 pontos).	172
Figura II.50- Carta MR para o produto C, característica L* (19 pontos).	173
Figura II.51- Carta X para o produto C, característica a* (19 pontos).	173
Figura II.52- Carta MR para o produto C, característica a* (19 pontos).	173
Figura II.53- Carta MR para o produto C, característica b* (19 pontos).	174
Figura II.54- Carta MR para o produto C, característica b* (19 pontos).	174
Figura III.1- Fatores para construção das cartas de controlo de variáveis.	175
Figura III.2- Distribuição da estatística D (Lilliefors).	176
Figura III.3- Distribuição normal reduzida.	177

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Diferentes definições do conceito de qualidade.	21
Tabela 2.2- Vantagens e desvantagens da utilização de ferramentas da qualidade.	28
Tabela 2.3- Quadro resumo das ferramentas da qualidade.	28
Tabela 2.4- Cartas de controlo de variáveis e de atributos existentes.....	47
Tabela 2.5-Parâmetros do processo para cartas de controlo de variáveis (Fase 1).	48
Tabela 2.6- Tipos e aplicações de cartas de controlo de variáveis (Fase 2).	48
Tabela 2.7- Parâmetros definidos para as cartas de controlo de atributos.	51
Tabela 2.8- Aplicação, tipo de cartas e critérios de aplicação para pequenas produções.	56
Tabela 2.9- Tipos de cartas e aplicações para cartas de controlo de diferenças.	57
Tabela 2.10- Tipos de Cartas de controlo Z e W.....	57
Tabela 2.11- Tipos de cartas, limites e aplicação para cartas de controlo Q.	58
Tabela 3.1- Correspondência entre os eixos e as cores.....	72
Tabela 4.1-Causas de variação e causas de erro identificadas.....	79
Tabela 4.2- Caracterização dos produtos selecionados para estudo.	84
Tabela 4.3- Parâmetros obtidos para o teste de Kolomogorov-Smirnov para o produto A, características L^* , a^* e b^*	96
Tabela 4.4- Parâmetros obtidos a partir do processo controlado para o produto A.....	97
Tabela 4.5- Índices de capacidade do processo obtidos para as diferentes características em estudo, para o produto A.....	97
Tabela 4.6- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto A, características em estudo L^* , a^* e b^*	101
Tabela 4.7- Parâmetros obtidos para o teste de Kolomogorov-Smirnov para o produto B.	109
Tabela 4.8- Parâmetros obtidos a partir do processo controlado para o produto B.	110
Tabela 4.9- Índices de capacidade do processo obtidos para a características b^* , para o produto B.....	110
Tabela 4.10- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto B, característica b^*	112
Tabela 4.11- Parâmetros obtidos para o teste de Kolomogorov-Smirnov para o produto C.	121
Tabela 4.12- Parâmetros obtidos a partir do processo em controlo para o produto C.	121
Tabela 4.13- Índices de capacidade do processo obtidos para as diversas características em estudo, para o produto C.....	122

Tabela 4.14- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto C, características em estudo L^* , a^* e b^*	125
Tabela 4.15- Limites de especificação definidos.....	126
Tabela I.1- Formulação do produto A.	138
Tabela I.2- Dados relativos ao produto A.....	138
Tabela I.3- Coordenadas de cor do padrão para o produto A.	141
Tabela I.4- Dados das observações para as coordenadas L^* , a^* e b^* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb para o produto A.....	141
Tabela I.5- Formulação do produto B.	142
Tabela I.6- Dados relativos ao produto B.....	143
Tabela I.7- Coordenadas de cor do padrão para o produto B.	146
Tabela I.8- Dados das observações para as coordenadas L^* , a^* e b^* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto B.....	146
Tabela I.9- Formulação do produto C.	150
Tabela I.10- Dados relativos ao produto C.....	150
Tabela I.11- Coordenadas de cor do padrão para o produto C.	152
Tabela I.12- Dados das observações para as coordenadas L^* , a^* e b^* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto C.....	152
Tabela I.13- Coordenadas de cor do padrão para o produto D.	155
Tabela I.14- Dados das observações para as coordenadas L^* , a^* e b^* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto D.	155

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

A qualidade desempenha um papel fundamental na indústria, sendo necessário garantir que todos os requisitos estabelecidos pelo cliente são cumpridos.

A empresa Poliversal - Plásticos e Tecnologia, S.A. (Figura 1.1), é uma empresa que atua no mercado dos plásticos há mais de 50 anos. Ao longo deste tempo conseguiu construir uma relação de confiança com os seus clientes, investindo cada vez mais na inovação e qualidade dos produtos produzidos. Como o principal objetivo é garantir que os produtos fornecidos cumprem com as expectativas do cliente, é importante apostar na utilização de ferramentas que permitam melhorar o desempenho de produção de masterbatches (MB).



Figura 1.1- Poliversal - Plásticos e Tecnologia, S.A.

O material plástico é na atualidade um dos materiais mais importantes e utilizados na sociedade, podendo ser encontrado nas mais diversas formas e cores. É aplicado nas mais diversas indústrias, desde têxtil, automóvel, farmacêutica entre outras.

Um masterbatch é um composto polimérico que tem na sua constituição um ou mais aditivos e/ou pigmentos com elevadas concentrações.

Na produção dos MB existem inúmeros fatores que podem potenciar a existência de não conformidades no produto, alguns estão identificados no esquema abaixo (Figura 1.2).

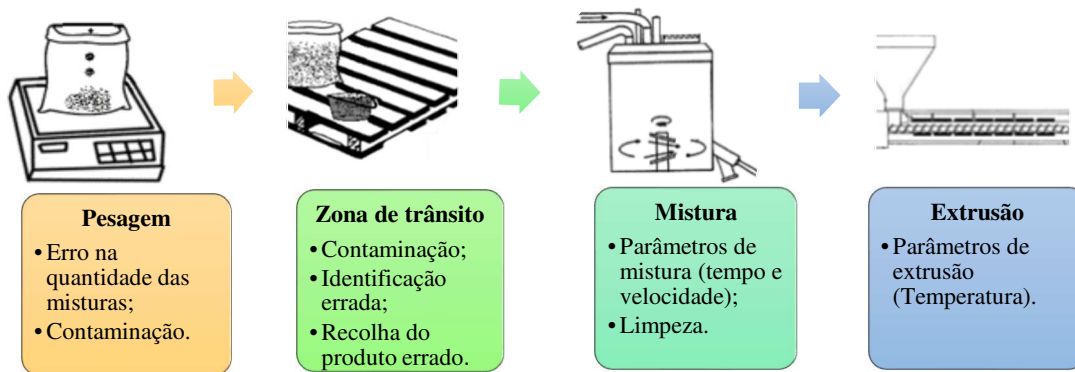


Figura 1.2- Esquema do processo de fabrico com redução dos fatores de risco.

As não conformidades são praticamente todas detetadas durante o controlo da qualidade do produto em curso de produção. As etapas de correção que daí resultam comprometem a eficiência do processo, com o aumento dos tempos de produção e a alocação de recursos adicionais.

A melhoria da eficiência do processo produtivo exige a recolha de dados e a sua análise de modo a determinar as causas mais relevantes e a estabelecer ações de melhoria. A utilização de ferramentas da qualidade permite sistematizar e analisar resultados de modo a maximizar a relevância da informação retirada. Estas são uma mais-valia para o controlo do processo produtivo e para a melhoria dos processos.

A implementação de ferramentas da qualidade permite perceber o real desempenho do processo, de que forma este consegue corresponder às exigências dos clientes e de que forma o mesmo pode ser melhorado.

1.2. Objetivos

Os objetivos definidos para a realização desta dissertação foram os seguintes: Identificar e analisar as causas que afetam o desempenho do processo; Verificar de que forma o processo consegue cumprir com as especificações definidas para os diferentes produtos, bem como sugerir medidas para aumentar a aceitação dos lotes por parte da empresa e do cliente; Analisar se as cartas de controlo conseguem distinguir os dois tipos de causas a atuar no processo, causas normais e causas anormais; Definir uma carta de controlo, que em caso de existir um produto com necessidade de correção, o operador consiga perceber se foi devido a um erro (causa anormal de variação) ou se é referente à variabilidade do processo uma vez que a especificação é demasiado apertada.

1.3. Estrutura do documento

Este documento está dividido em 5 partes:

- 1- Introdução – Relevância que o tema apresenta, objetivos e estrutura da dissertação.
- 2- Fundamentos teóricos – Abordagem do que é a qualidade, ferramentas da qualidade e controlo estatístico.
- 3- Caso de estudo – Enquadramento sobre a empresa Poliversal - Plásticos e Tecnologia, S.A. e o produto masterbatch, constituição do processo (etapas constituintes), caracterização dos produtos e correções em curso durante a produção.
- 4- Parte experimental- Identificação e análise das causas mais prováveis assim como o estudo da variabilidade do processo, aplicação do controlo estatístico ao processo.
- 5- Conclusões e recomendações – São apresentadas as conclusões finais retiradas da análise do capítulo 4, assim como recomendações para trabalhos futuros.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Qualidade

Com a evolução da indústria, dos produtos e dos requisitos dos clientes, tornou-se fundamental garantir que todos os produtos produzidos estavam de acordo com os critérios de qualidade estabelecidos. Desta forma tornou-se essencial a aquisição e utilização de ferramentas e técnicas da qualidade que garantissem esses critérios.

O conceito de qualidade está presente na sociedade desde sempre, ao longo da história é possível observar as várias fases do seu desenvolvimento, tais como a inspeção, controle estatístico de qualidade, garantia de qualidade e a mais atual gestão da qualidade total.

2.1.1. Conceitos

A qualidade é um conceito utilizado nos mais diversos contextos e que pode assumir diferentes significados. Segundo diversos autores o conceito de qualidade é definido da seguinte forma (Tabela 2.1):

Tabela 2.1- Diferentes definições do conceito de qualidade.

Conceito/Definição de qualidade
“Qualidade é tudo aquilo que melhora o produto do ponto de vista do cliente. Somente o cliente é capaz de definir a qualidade de um produto. O conceito de qualidade muda de significado na mesma proporção em que as necessidades dos clientes evoluem.” (DEMING, 1986; Silva et al., 2018)
“Qualidade é ausência de defeitos” (JURAN, 1989; Silva et al., 2018)
“Qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que seja econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor” (ISHIKAWA, 1986; Silva et al., 2018)
“Qualidade é a conformidade do produto às suas especificações, ou seja, é fornecer ao cliente exatamente aquilo que foi prometido” (CROSBY, 1979; Silva et al., 2018)
“Qualidade é a correção dos problemas e das suas causas ao longo de toda a série de fatores relacionados com marketing, projetos, engenharia, produção e manutenção, que exercem influência sobre a satisfação do usuário” (FEIGENBAUM, 1986; Silva et al., 2018)
“A qualidade, para além de uma filosofia de gestão que dispõe de um conjunto de instrumentos, métodos e práticas, constitui um modelo de comunicação integrado, cuja importância é crucial para a prática de uma gestão moderna” (Lopes & Capricho, 2007)
“Fácil de reconhecer... difícil de definir” (Library Association, 1994)
Os sistemas, metodologias e ferramentas de gestão da qualidade tornaram-se fatores fundamentais nas organizações para aumentar a vantagens competitiva. (Torres et al, 2015)
A qualidade é uma fonte de conhecimento que permite criar uma nova forma de gerir e simplificar os processos de decisão com o objetivo de melhorar o desempenho das organizações. (Neves, 2012)
O termo qualidade deriva da palavra latina “qualitate” e é sinónimo de procura de melhoria contínua em todos os níveis de uma organização, desde política e estratégias a desempenho económico e financeiro. Esta procura pela melhoria contínua pretende superar as expectativas de todos os “stakeholders”. (Silva, 2009)
A qualidade é definida pelo cliente. (Pulido, 2014)

Grupo de propriedades e características. (Evans & Lindsay, 2014)
Expectativas baseadas na expectativa do utilizado e no preço de venda (Besterfield, 2014)
Qualidade é definida como o grau em que um conjunto de características cumprem os requisitos da normal ISO 9001. (Icontec, 2008)
Valor universal que permite aperfeiçoar de forma constante os produtos através da monitorização e correção das não conformidades. (Judi et al, 2011)
A qualidade é definida através do nível de satisfação dos consumidores. (Juran & Godfrey, 1998)
A qualidade é uma forma de atuar para uma permanente obtenção de melhores resultados. (Santos, 2016)
“A qualidade dos produtos e serviços de uma organização é determinada pela aptidão para satisfazer os clientes e pelo impacto, pretendido ou não, sobre outras partes interessadas relevantes. A qualidade dos produtos e serviços inclui não só as funções e o desempenho pretendidos, mas também os correspondentes valor percebido e benefício para o cliente.” (NP EN ISO 9000:2015).
Segundo o dicionário Priberam da Língua Portuguesa, a palavra qualidade deriva do latim qualitas e pode assumir os seguintes significados: Maneira de ser boa ou má de uma coisa; Superioridade, excelência; Título, categoria; aquilo que caracteriza uma coisa. = CARACTERÍSTICA, PROPRIEDADE; Atributo, modalidade, virtude, valor. (Priberam, 2021)
“A qualidade consiste em colocar o cliente em primeiro lugar, sempre” (Colin Marshall - Pres. da British Airways) (Coradelli, 2018)
A Qualidade é uma tarefa de todos... a qualidade é essencial para permanecermos na corrida” (John Ackers, Presidente da IBM) (Monteiro, 2009)
“No fim, a qualidade torna-se uma garantia de peso para o consumidor.” (João Pinto Basto, Presidente da Vista Alegre) (Monteiro, 2009)
“Qualidade é ganhar dinheiro através da satisfação dos clientes. A qualidade está em primeiro lugar” (John Egan, Presidente da Jaguar) (Monteiro, 2009)

2.1.2. Evolução da qualidade

Já existia por partes dos artesões um cuidado e preocupação no desenvolvimento de cada produto e na utilização correta dos materiais necessários para que o produto fosse aprovado pelo povo e consumidores. No início do século XIX o conceito de qualidade passou a ter uma maior influência sobre todo o mercado ligado à indústria, isto porque começou a existir uma maior preocupação e atenção em todo o processo ligado ao fabrico, confeção e preparação dos produtos ao qual se deu o nome de supervisão.

A evolução da qualidade até aos dias de hoje está esquematizado na figura 2.1.

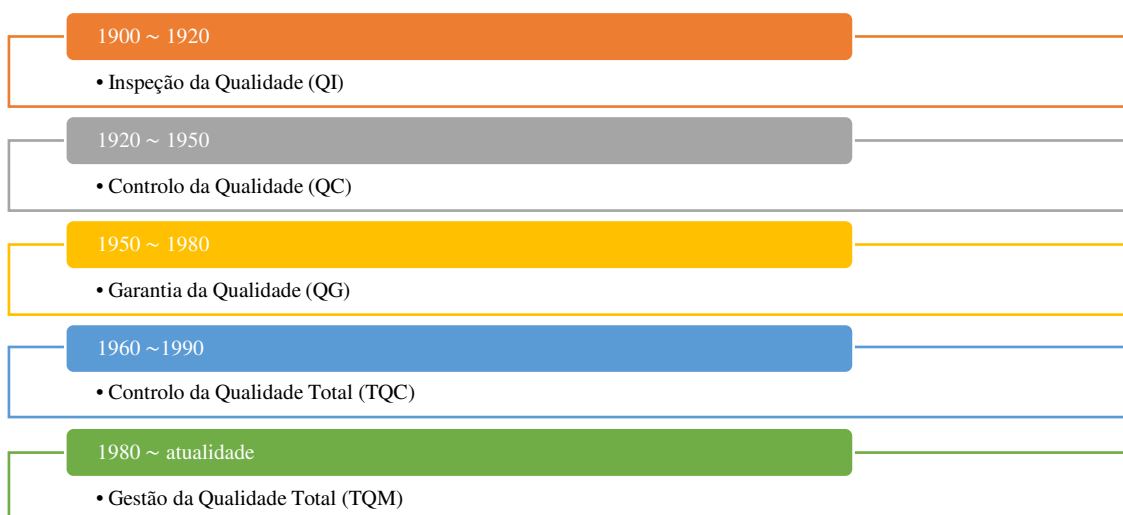


Figura 2.1- Evolução da qualidade (Hamid et al., 2019).

Era da Inspeção da Qualidade

Esta era tinha como princípio separar o que era bom do que era mau através da melhoria contínua. A inspeção era utilizada para garantir que os produtos fabricados estavam conformes com as especificações estabelecidas (Hamid et al., 2019). Esta fase passou a ter maior ênfase quando Frederick W. Taylor aplicou o processo de inspeção à produção em massa, isto é, tornou-a numa fase crucial do processo de controlo de qualidade. Com a implementação do processo de inspeção tornou-se possível verificar as matérias-primas antes de entrarem para produção, obtendo assim um baixo nível de utilização de produtos não conformes. Nesta época a gestão para a qualidade era muito pouco significativa e os clientes eram vistos como um mal necessário. Segundo Batchelor (1994) qualquer cliente pode ter um carro pintado da cor que quiser, desde que seja preto. Esta afirmação demonstra que a economia era dominada pelos produtos e que os consumidores apenas compravam o que havia disponível e não o que queriam (Hamid, 2019).

Após a 1ª guerra mundial, o conceito de qualidade foi amplamente desenvolvido uma vez existiu a necessidade de reduzir o impacto provocado pelas falhas que surgiram em equipamentos militares (Soveral, 2018).

Era do Controlo da Qualidade

Nesta era a melhoria contínua era alcançada pela utilização de ferramentas estatísticas no controlo das saídas do processo. A qualidade era baseada na perspectiva do produtor sem o envolvimento dos clientes, ou seja, a qualidade era baseada naquilo que o produtor definia e estabelecia. (Hamid, 2019)

A 2ª guerra mundial provocou no Japão uma grave crise social e económica, potenciando a falta de recursos a matérias-primas. Como forma de superarem estas adversidades, três organizações japonesas, Japan Management Association, Japan Standards Association e JUSE-The Union of Japanese Scientists and Engineers decidiram criar programas de controlo da qualidade. Estes programas basearam-se nos

princípios da gestão da qualidade total introduzidos por Feigenbaum, dos quais destacam-se os seguintes fatores críticos (Pereira & Requeijo, 2012):

- Responsabilização e envolvimento da gestão de topo;
- Criação de círculos da qualidade que sejam apoiados e reconhecidos pela gestão de topo como forma de aumentar a qualidade e a produtividade;
- Formação dos colaboradores com técnicas e métodos de qualidade;
- Desenvolver e conceber produtos de forma adequada para eliminação de defeitos.

Tornou-se evidente que após as duas guerras, a necessidade de utilização de técnicas estatísticas como forma de controlar e melhorar a qualidade. A criação da American Society for Quality Control em 1946, permitiu a utilização de diversas ferramentas de melhoria da qualidade através da utilização de workshops, publicações técnicas e conferências (Montgomery, 2013)

No século XX, os japoneses conseguiram impor-se no mercado internacional, através do aumento da qualidade dos produtos e no baixo custo dos mesmos, o que provocou uma maior competitividade nos produtos e serviços fornecidos.

Era da Garantia da Qualidade

A garantia da qualidade permitiu o desenvolvimento dos sistemas da qualidade, permitindo uma análise mais focalizada nos custos, no modo de falha e os respetivos efeitos no processo, bem como controlo estatístico do processo (Hamid, 2019). Segundo Dale (2003), a garantia da qualidade é baseada num sistema de prevenção que permite melhorar a qualidade de um produto e ou de um serviço. A ênfase no design de serviços, processos e produtos também permitiu aumentar a produtividade. Nesta época o foco da gestão da qualidade passou para o processo.

Era do Controlo da Qualidade Total

A gestão total da qualidade foi considerada como a última fase no processo de desenvolvimento da qualidade porque permitiu a integração de diversos conceitos. A criação da política da qualidade é o passo mais importante na implementação de um sistema de gestão da qualidade, porque define as orientações, intenções e objetivos da empresa. Os clientes e os fornecedores passam a desempenhar um papel importante no processo da qualidade, bem como todos os funcionários da empresa (Fernandes et al.; Fernandes et al., 2012).

Era da Gestão da Qualidade Total

Durante o século XX e XXI, os produtos comercializados pelas empresas começaram a ser mais diversificados, o que originou processos produtivos mais complexos e exigentes. Como forma de as empresas satisfazerem as necessidades dos clientes e conseqüentemente corresponderem as expectativas

destes, inúmeras empresas adotaram a Gestão pela Qualidade Total (TQM), que promove o envolvimento de toda a organização.

A gestão pela qualidade total é baseada na melhoria contínua de produtos e ou serviços, promovendo uma mudança cultural na organização (Can & Kadayifci, 2014). A melhoria da qualidade promove uma redução de custos e um aumento da satisfação do cliente.

Em 1947 surge a ISO- International Organization for Standardization “para facilitar a coordenação internacional e unificação dos padrões industriais”. Esta organização permite a criação de normas que promovam o desenvolvimento de bens e serviços. As normas ISO permitem criar especificações a nível mundial de serviços e produtos de modo a uniformizar os padrões de qualidade, eficiência e segurança (NP EN ISO 9001:2015a).

A utilização da norma ISO 9001 garante que os clientes obtenham produtos e serviços continuamente com boa qualidade, promovendo os benefícios comerciais. (NP EN ISO 9001:2015)

A norma ISO está orientada segundo os 8 princípios descritos (Pereira & Requeijo, 2012):

- Liderança;
- Foco no cliente;
- Envolvimento de toda a organização;
- Abordagem por processos;
- Melhoria contínua;
- Relações benéficas com fornecedores;
- Abordagem da gestão como um sistema;
- Abordagem à tomada de decisão com base em factos.

2.1.3. Metodologia 6 sigma

É uma metodologia de melhoria contínua que permite definir o valor e as necessidades do cliente, tendo como enfoque garantir um nível de confiança elevado e uma produção com zero defeitos.

O seis sigma permite descrever a capacidade que o processo tem para cumprir com as especificações estabelecidas, sendo que quanto maior for o valor de sigma, menor a variabilidade do processo. Menor variabilidade significa menor probabilidade de serem produtos fora da especificação estabelecida (Ferreira, 2015).

Permite aumentar o lucro nas organizações, aumentando a qualidade do processo e do produto, aumentando a satisfação dos clientes e diminuindo a ocorrência de defeitos.

Esta metodologia é desenvolvida através do método DMAIC.

DMAIC

Este método permite melhorar o desempenho do processo através da resolução de problemas e da melhoria da qualidade (DeFeo, 2020) (Figura 2.2). A sigla DMAIC significa **D**: Define (definir); **M**: Measure (medir); **A**: Analyze (analisar); **I**: Improve (melhorar); **C**: Control (Controlar).

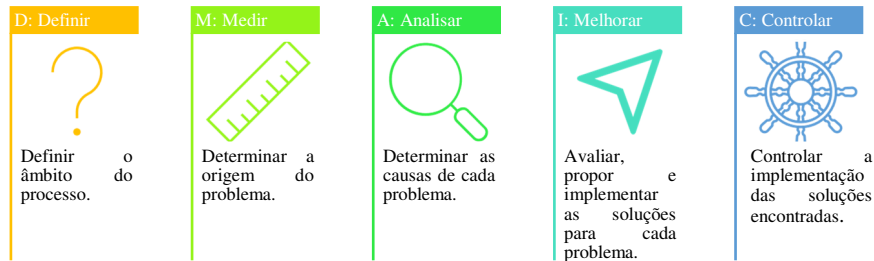


Figura 2.2- Método DMAIC.

A utilização deste método permite aumentar a rentabilidade da empresa, aumentando a qualidade e reduzindo os custos (Antony et al., 2016).

DMADV

O método DMADV é utilizado quando existe a necessidade por parte de um cliente de melhorar um produto, criar ou ajustar um novo produto ou serviço (Figura 2.3). A sigla DMADV significa **D**: Define (Definir); **M**: Measure (Medir); **A**: Analyze (Analisar); **D**: Design; **V**: Verify (Verificar).



Figura 2.3- Método DMADV.

Este método permite criar produtos de alta qualidade, tendo em conta os requisitos do cliente (Selvi, 2014).

Ciclo PDCA

Segundo Silva, et. al (2017) o ciclo PDCA é utilizado no controlo e melhoria de processos e produtos. Costa (2007) defende que o conceito PDCA consiste na implementação de mudanças estratégicas e na organização de melhorias sucessíveis em círculos (Figura 2.4).

O ciclo PDCA ensina as organizações planear uma ação, a executar e a verificar se a mesma atua conforme o planeado e estudado (Johnson, 2002).

É composto por quatro fases: **P**: Plan (Planear); **D**: Do (Executar); **C**: Check (Verificar); **A**: Action (Atuar).



Figura 2.4- Ciclo PDCA.

2.1.4. Importância para a organização da implementação de um sistema de gestão da qualidade

Com um mercado cada vez mais globalizado, alterações na regulamentação, clientes mais exigentes, concorrentes mais competitivos, é fundamental que cada organização crie estratégias competitivas como meio de sobrevivência. A criação de uma boa estratégia competitiva permite que a organização aumente a qualidade e reduza os prazos e os custos.

A satisfação dos clientes, melhoria contínua dos serviços, processos e produtos são atualmente um dos maiores desafios pela qual as empresas passam. Como forma de assegurar estas necessidades, melhorar os processos, diminuir custos, acrescentar valor à organização e aos produtos, muitas empresas optam por implementar sistemas de gestão da qualidade (Estrategor).

A implementação de um sistema de gestão da qualidade acresce benefícios como: Satisfação do cliente, melhor desempenho empresarial, implementação de melhores práticas de fabrico e gestão, aumento da produtividade, aumento do desempenho a nível empresarial e financeiro e aumento na melhoria de comunicação interna.

A qualidade de um serviço sempre foi importante no ramo industrial, existindo uma maior preocupação com os objetos do que com o ser humano. (Pereira, 2015)

O processo de qualidade tornou-se cada vez mais importante para as organizações uma vez que este permite que a empresa compita no mercado atual. Desta forma para que a empresa consiga sobreviver será importante o desenvolvimento de novos produtos e serviços. (Campos, 1999)

Ferreira et al (2016) defendem que a qualidade é importante numa organização que necessite de sobreviver no mercado global. O desenvolvimento do processo de qualidade através da utilização de ferramentas da qualidade, promove a melhoria contínua do processo de produção, reduzindo os custos e aumentando a produtividade e competitividade.

A qualidade deixou-se de se tornar numa opção, para se tornar numa condição de permanência. Torna-se numa exigência dos consumidores e consequentemente dos mercados. (Bertonilo, 2010).

Verifica-se que a qualidade numa indústria, serviço e ou produto é cada vez mais importante. A implementação de um sistema de qualidade permite não só que uma empresa consiga cumprir com todos os critérios e exigências dos clientes, como aumentar a competitividade no mercado.

2.2. Ferramentas da Qualidade

No decorrer do século XX, foram desenvolvidas por vários autores, ferramentas de melhoria contínua. A implementação de ferramentas da qualidade em processos de produção permite às indústrias atingirem os objetivos propostos com maior distinção bem como levar a uma redução dos defeitos e consequentemente de custos. A redução nos custos permite que a empresa consiga não só aumentar os lucros como também consegue elevar a confiança e a sua imagem por parte dos clientes. São inúmeras as ferramentas de qualidade existentes. As ferramentas da qualidade são utilizadas na melhoria da qualidade assim como no controlo das variações existentes no processo produtivo. (Gomes, 2012)

Segundo Paliska & Sokovic (2007) um dos princípios do processo de melhoria contínua da qualidade é baseado no pressuposto de que todas as decisões, em particular as que são tomadas pela equipa da qualidade e pela direção da organização devem ser fundamentadas pela utilização das ferramentas básicas da qualidade.

Segundo Putri & Yusof (2011) os benefícios e as limitações da implementação de ferramentas da qualidade são as seguintes (Tabela 2.2):

Tabela 2.2- Vantagens e desvantagens da utilização de ferramentas da qualidade.

Vantagens	Desvantagens
Resolução imediata de problemas da qualidade;	A sua implementação é normalmente longa;
Melhorar de forma consciente a qualidade, produto e processo;	Necessidade de conhecimento para aplicação das ferramentas;
Garantir que o processo a controlar é estável e capaz;	Falta de interesse e pouco conhecimento por parte da gestão de topo.
Permitir obter informação importante sobre o estado em que está a qualidade, visibilidade e rastreabilidade dos produtos.	

São inúmeras as ferramentas da qualidade, temos desde ferramentas básicas, ferramentas de planeamento e gestão, ferramentas de suporte ao desenvolvimento de novos produtos, ferramentas Lean Manufacturing. Na tabela seguinte 2.3, estão resumidas algumas das ferramentas da qualidade existentes.

Tabela 2.3- Quadro resumo das ferramentas da qualidade.

Ferramenta	O que é?
5 forças de Porter	Esquema que permite analisar a competição entre empresas.
5 Porquês	Técnica que permite identificar a causa raiz dos problemas em produção.

5S	Ferramenta que permite organizar, limpar e manter limpos os pontos de trabalho.
Análise SWOT	Ferramenta que permite fazer o planeamento estratégico da empresa.
Brainstorming	Conjunto de ideias ou sugestões de elementos uma equipa de forma a encontrar soluções.
Cartas de controlo	Gráfico com limites de controlo que permitem a monitorização de processos.
Diagrama de Afinidades	Diagrama que permite agrupar frases, ideias, temas e organizá-los com base nas relações entre eles.
Diagrama de Atividades	Organigrama que permite ilustrar detalhadamente todos os percursos necessários para atingir o objetivo definido.
Diagrama de Ishikawa	Diagrama que mostra as causas associadas a um evento.
Diagrama de Pareto	Gráfico de barras que representa a frequência das ocorrências mostrando qual é a contribuição de cada causa para os problemas em análise.
Diagrama de Relações	Diagrama que permite desenhar as relações lógicas entre fatores.
Diagrama em Árvore	Diagrama que permite criar ligação entre necessidades e características.
Diagrama matricial	Representação gráfica que permite compreender de forma clara e rápida a relação na rede das diversas variáveis envolvidas na resolução de um problema.
DOE	Teste que permite alterar de forma intencional variáveis de entrada de um processo de forma a medir as alterações na variável de saída do processo.
Fluxograma	Diagrama de fluxos que permite visualizar a globalidade do processo.
FMEA	Técnica que permite identificar os potenciais problemas no processo, analisando as falhas existentes.
Folha de Registo e Verificação	Formulários de recolha de dados que permitem copilar a informação relevante de um determinado contexto.
Gráfico de Decisão do Processo	Gráfico que permite esquematizar as soluções encontradas para um determinado problema.
Gráfico de dispersão	Gráfico que representa a relação entre duas variáveis.
Histograma	Gráfico que permite observar a frequência com que um conjunto de dados ocorre.
Kaizen	Metodologia que permite desenvolver soluções de baixo custo.
Kanban	Ferramenta visual que permite controlar o fluxo de produtos num sistema de produção.
Matriz de Prioridades	Diagrama que permite organizar de forma lógica ações, propriedades, atributos e responsabilidades.
Poka-Yoke	Técnica utilizada para prevenir e detetar erros em produtos, sistemas ou processos.

Relatório A3	Ferramenta que permite documentar e registar informação de forma sucinta para a resolução de problemas.
TPM	Metodologia que permite otimizar atividades relacionadas com manutenção de equipamentos.
TQM	Modelo de gestão que permite a melhoria contínua em processos e ou procedimentos.
VM	A ferramenta de gestão visual permite melhorar o sistema organizacional.
VSM	Diagrama que representa as etapas envolvidas num processo de forma a responder às necessidades dos clientes.

2.2.1. Ferramentas estratégicas

5 forças de Porter

Esta ferramenta de análise permite analisar e conhecer a estrutura de uma indústria, identificando todos os fatores que prejudicam o negócio (Porter, 1979).

O modelo que representa as cinco principais forças de Porter são (Figura 2.5):

Poder negocial dos clientes: Poder que os clientes têm sobre a empresa e indústria que pode levar a uma diminuição do preço e conseqüentemente a um aumento da exigência da qualidade.

Poder negocial dos fornecedores: Os fornecedores são essenciais para as empresas uma vez que fornecem produtos e serviços essenciais. Desta forma o poder dos mesmos aumenta conforme a qualidade e preço oferecidos.

Ameaça de produtos ou serviços substitutos: Os produtos substitutos que são semelhantes no que toca a finalidades e benefícios significam uma ameaça para os que já existem no mercado.

Ameaça de novos concorrentes: A entrada de novo concorrentes no mercado pode significar uma ameaça, uma vez que passa a existir uma disputa pelos recursos e clientes.

Rivalidade entre os concorrentes existentes no mercado: A rivalidade entre concorrentes é notória quando um ou mais tem necessidade de aumentar a sua quota de mercado.



Figura 2.5- 5 Forças de Porter.

Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta utilizada para analisar o ambiente permitindo gerir e planear estratégias numa organização (Figura 2.6). A sigla SWOT significa **S**: Strengths (Força); **W**: Weaknesses (Fraquezas); **O**: Opportunities (Oportunidades) e **T**: Threats (Ameaças). Serve para verificar a situação e a posição da empresa no ambiente onde atua. (Mccreadie, 2008).



Figura 2.6- Análise Swot.

Esta ferramenta deve ser utilizada em situações como: desenvolvimento de novos produtos, tomada de decisão na expansão de negócio e no início de uma marca ou empresa.

A principal vantagem da utilização da matriz SWOT é dar a conhecer à empresa a sua posição face à concorrência, permitindo a criação de um plano estratégico.

TPM (Total Productive Maintenance)

Segundo Reis (2011), a manutenção produtiva total descreve a relação entre todas as funções dentro de uma organização (particularmente entre a produção e a manutenção) com o objetivo de obter a melhoria contínua do produto (Figura 2.7). A implementação do TPM tem promovido um aumento da produção e da satisfação dos clientes.

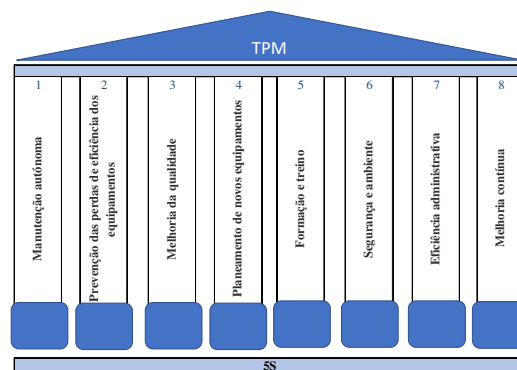


Figura 2.7- Manutenção total produtiva.

Vantagens na utilização e implementação da manutenção total produtiva: Redução de custos; Produção de bens conformes; Redução de desperdícios.

TQM (Total Quality Management)

A gestão da qualidade total é baseada no que a uma organização pode construir de forma a obter sucesso a longo prazo com o envolvimento de todos os colaboradores na melhoria contínua (Pratt, 2019).

Algumas das ferramentas da qualidade utilizadas na gestão pela qualidade total servem para implementar e otimizar a manutenção produtiva total (Venkatesh, 2005).

A gestão da qualidade total é uma filosofia baseada no controlo de qualidade enquanto a manutenção total produtiva é um conceito baseado na melhoria dos processos de manutenção.

2.2.2. Ferramentas básicas da qualidade

Brainstorming

O brainstorming é um conjunto de ideias recolhidas por membros de uma equipa de trabalho como forma de encontrar as possíveis causas para um determinado problema e desta forma proporcionar uma tomada de decisão (Costa & Mendes, 2018). Este divide-se em 3 fases, na primeira fase são apresentadas as ideias pelos elementos da equipa, na segunda é feita a revisão das ideias onde são eliminadas aquelas que não interessam e por último, numa terceira fase as ideias são selecionadas e agrupadas por ordem de prioridade.

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, diagrama de causa-efeito ou diagrama-de-espinha de peixe é um diagrama que mostra as causas associadas a um evento. Esta ferramenta é frequentemente usada para descrever as várias etapas do processo, desta forma é possível evidenciar os pontos onde podem surgir problemas de controlo de qualidade de forma a determinar os recursos necessários (Figura 2.8). A forma em espinha de peixe permite representar o problema de uma forma mais fácil para os elementos que estão a frente do projeto. As espinhas do peixe representam as causas para um determinado evento e a cabeça o resultado final (Oakland, 2003).

A construção de um diagrama de causa-e-efeito é feita da seguinte forma:

- 1- Identificar o problema (Escrever o problema dentro de uma caixa no lado esquerdo e desenhar uma linha horizontal ao longo do papel a partir da caixa.
- 2- Identificar os principais fatores envolvidos (Identificar os possíveis fatores que podem fazer parte do problema. Fazer um brainstorm com todas as possibilidades possíveis e desenhar várias linhas a partir da linha horizontal para cada fator, identificando-as.

- 3- Identificar as possíveis causas (Identificar as causas que podem estar relacionadas com os fatores identificados no passo anterior. Estas causas são identificadas como linhas mais curtas que saem do diagrama (zona das causas).
- 4- Analisar o diagrama (Nesta fase torna-se mais fácil observar e investigar as causas mais prováveis para um determinado problema).

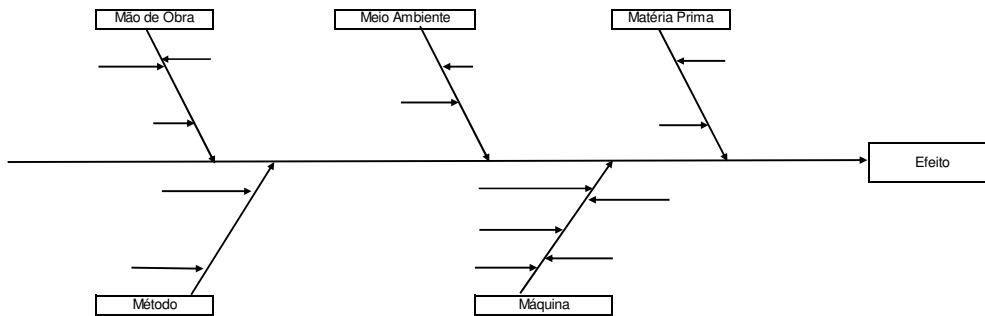


Figura 2.8- Diagrama Causa Efeito.

As vantagens na utilização desta ferramenta da qualidade são: Visão global sobre todas as variáveis que interferem ou podem interferir num determinado processo ou atividade; Ferramenta estruturada que permite observar os itens que necessitam de ser verificados, permitindo uma rápida identificação das causas dos problemas existentes (Hosken).

Diagrama de Pareto

O princípio de pareto assenta sobre: 80% das saídas resultam de 20% das entradas. O diagrama de pareto é um gráfico de barras que representa a frequência das ocorrências mostrando qual é a contribuição de cada causa para os problemas em análise. A sua principal característica é a identificação das principais causas que ocorrem para um determinado problema, o que permite estabelecer prioridades de atuação e desta forma evitar o desperdício na utilização de recursos (Montgomery, 2009).

Este diagrama também é conhecido por diagrama 80-20, podendo ser feita uma análise ABC onde os diferentes tipos de defeitos são classificados por classes (Figura 2.9).

A classificação por grupos é feita da seguinte forma:

- A- Classifica os defeitos de grande relevância e que representam 20% das causas que originam 80% dos problemas;
- B- Defeitos de média relevância, refere que 30% das causas produzem 15% dos defeitos;
- C- Defeitos de pequena relevância, indica que as restantes 50% das causas são responsáveis por 5% dos defeitos.

Etapas para a construção do diagrama de Pareto:

- 1- Definir as categorias usadas para agrupar os dados;
- 2- Definir a medida a usar (frequência, quantidade, custo e tempo);

- 3- Definir o tempo de ciclo;
- 4- Recolher os dados e registar na categoria a que se destinam;
- 5- Calcular e registar o subtotal das medidas para cada categoria;
- 6- Determinar a escala mais apropriada para os dados recolhidos;
- 7- Calcular a % para cada categoria e ordená-las por ordem decrescente de valor;
- 8- Construir e identificar as barras a que se destinam para cada categoria, as categorias são representadas através do eixo horizontal e as percentagens pelo eixo vertical);
- 9- Calcular e traçar a curva com os valores obtidos das somas acumuladas.

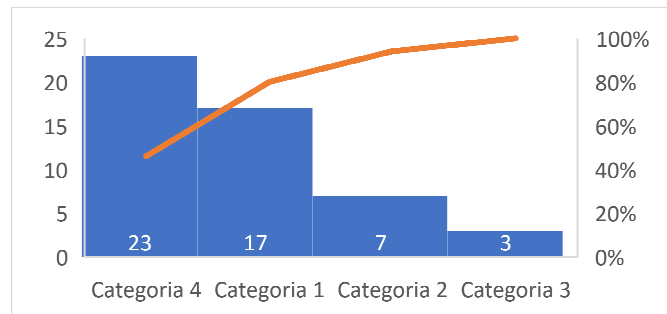


Figura 2.9- Diagrama de Pareto.

A utilização da ferramenta diagrama de Pareto apresenta inúmeras vantagens desde visualização global dos vários elementos de um problema; rápida visualização dos problemas mais significativos (80%) (Hosken).

Gráfico de dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico que permite visualizar a relação entre as duas variáveis em estudo, desta forma consegue-se perceber o efeito na alteração de uma destas (Figura 2.10).

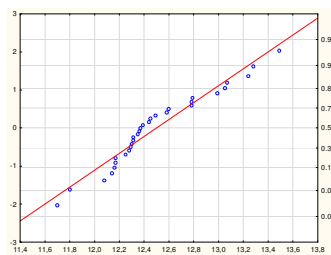


Figura 2.10- Gráfico de dispersão.

A principal vantagem associada à utilização deste diagrama é a identificação da relação entre as variáveis em estudo (Hosken).

Carta de controlo

A carta de controlo tradicional de Shewart permite representar a evolução de uma estatística (ω) ao longo de um período de tempo (Figura 2.11). Os limites de controlo que definem a variação natural do processo estão indicados abaixo:

$$LSC = \mu_{\omega} + 3\sigma_{\omega} \quad (2.1)$$

$$LC = \mu_{\omega} \quad (2.2)$$

$$LIC = \mu_{\omega} - 3\sigma_{\omega} \quad (2.3)$$

Em que,

LSC- Limite Superior de Controlo

LC – Limite de Controlo

LIC – Limite Inferior de Controlo

ω – Estatística qualidade

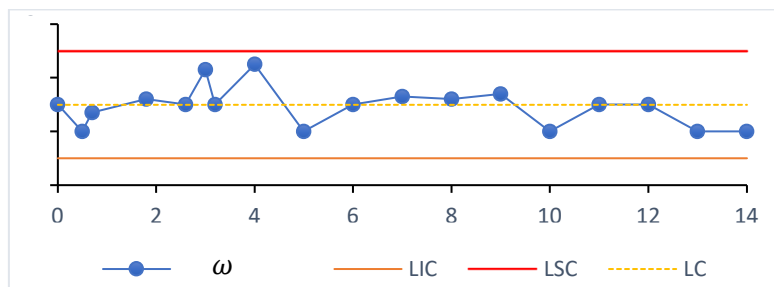


Figura 2.11- Carta de controlo tradicional.

Fluxograma

Um fluxograma permite representar de forma ordenadas as etapas com início, desenvolvimento e fim que constituem um determinado processo ou produto (Figura 2.12). Esta ferramenta é utilizada essencialmente no planeamento e melhoramento do processo.

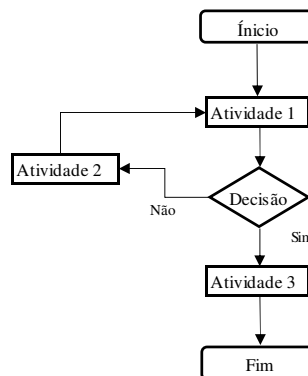


Figura 2.12- Fluxograma.

O fluxograma é essencialmente utilizado nas seguintes situações:

- Avaliação de soluções para identificação das zonas afetadas com as mudanças propostas;
- Verificação dos vários passos existentes e da relação entre eles;
- Identificar o fluxo ideal de acompanhamento de um serviço e/ou produto.

Apresenta vantagens ao nível da visão global do processo de um produto, permitindo detetar possíveis situações críticas; melhorar o conhecimento sobre o processo como forma de desenvolver as melhores soluções e tarefas para uma otimização (Hosken).

Histograma

O histograma é um gráfico que permite observar qual é a frequência com que um conjunto de dados ocorre, sendo usado para resumir dados discretos ou contínuos (Figura 2.13).

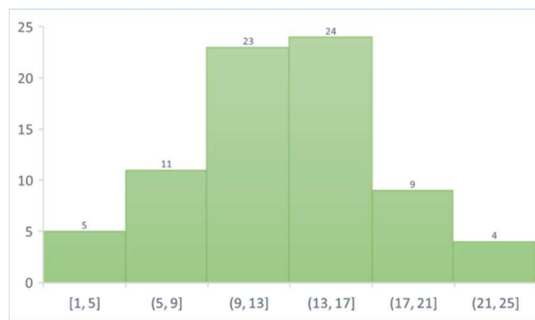


Figura 2.13- Histograma.

Esta ferramenta da qualidade deve ser usada nas seguintes situações:

- Os dados são numéricos;
- Pretende-se observar como ocorre a distribuição de dados de forma a ser possível perceber se a saída ocorre de forma normalizada;
- Analisar se o produto é capaz de atender às expectativas do cliente, garantido que os seus critérios são cumpridos;
- Observar as saídas dos fornecedores;
- Observar a durabilidade de uma mudança num período de tempo;
- Determinar como são as saídas de diferentes processos;
- Quando é possível e podemos comunicar a distribuição de dados recolhidos.

Vantagens na utilização de histogramas: Visão rápida e simples dos dados históricos. (Hosken)

Folha de Registo e Verificação

Esta ferramenta da qualidade é utilizada como recolha, registo e análise de dados referentes a projetos como forma de identificar possíveis problemas no processo (Figura 2.14) (Neto et al, (2017).

Folha de registo e verificação:							
Produto: _____							
Lote	Data de fabrico	Hora	Teste A	Teste B	Teste C	Aprovado	Operador

Figura 2.14- Folha de registo e verificação.

A folha de registo e verificação permite identificar e quantificar os defeitos mais frequentes, assim como registar as unidades inspecionadas e rejeitadas.

2.2.3. Ferramentas de Gestão e Planeamento

Diagrama de Afinidades

Ferramenta que reúne uma grande quantidade de informação, proveniente de ideias, relatórios e opiniões e organiza-a em grupos com base nas afinidades existentes entre os dados recolhidos (Figura 2.15) (Hosken).

Este diagrama é utilizado em situações em que a informação está desorganizada e existe a necessidade de clarificar e delimitar a informação para a resolução de um problema.

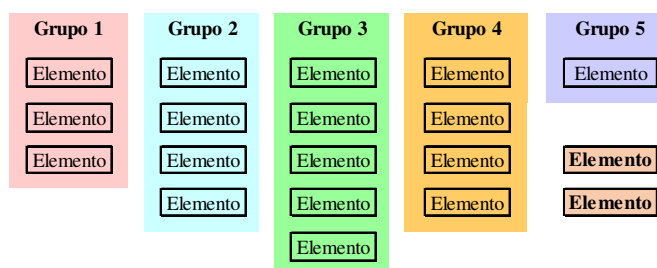


Figura 2.15- Diagrama de afinidades.

Diagrama de Atividades

O diagrama de atividades é uma ferramenta que fornece recursos para a representação das várias situações que ocorrem no fluxo de controlo de uma atividade (Mello, 2011).

Diagrama de Relações

O diagrama de relações permite determinar as inter-relações entre os diversos fatores que constituem o problema em estudo (Figura 2.16). Possibilita ainda que todos os elementos de uma organização que estejam envolvidos na resolução do problema consigam definir o que é prioritário fazer (Martins, 2009).

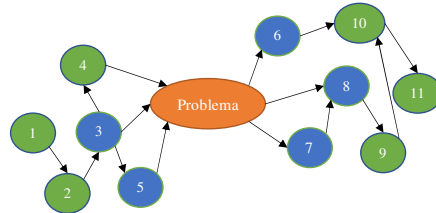


Figura 2.16- Diagrama de relações.

Este diagrama apresenta vantagens quando comparado ao diagrama de Ishikawa, uma vez que permite mostrar a relação entre as categorias de causas e consequentemente definir as ações prioritárias.

Diagrama em Árvore

Segundo Martins (2009), o diagrama em árvore é uma ferramenta eficaz que permite atingir o objetivo estabelecido, através do desdobramento do objetivo até que exista uma ação executável (Figura 2.17).

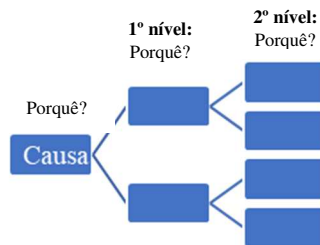


Figura 2.17- Diagrama em árvore.

Este diagrama garante que os passos possíveis para a resolução de um problema estão a ser dados e que as linhas traçadas estão conectadas de forma lógica.

Diagrama matricial

O diagrama matricial permite avaliar o grau de relação entre dois ou mais itens envolvidos na solução para um determinado problema (Figura 2.18). Dependendo da quantidade de conjuntos que pretendemos analisar, o diagrama matricial pode assumir um formato em tabela (2 conjuntos), em "T" (três conjuntos) ou em "Y" (quatro conjuntos).

	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					
E					

Figura 2.18- Diagrama matricial de 2 conjuntos.

Gráfico de Decisão do Processo

O gráfico de decisão do processo permite esquematizar as soluções possíveis para resolver um determinado problema (Figura 2.19). Esta ferramenta aplica-se normalmente quando se pretende planear um conjunto de tarefas utilizadas para resolver um determinado problema.

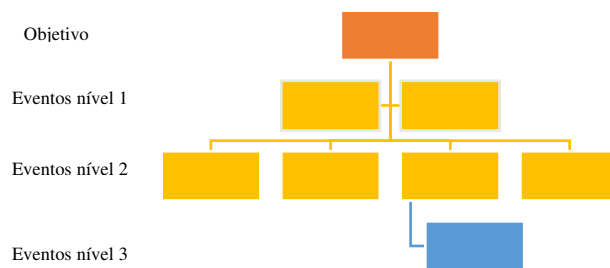


Figura 2.19- Gráfico de decisão do processo.

Matriz de Prioridades

Esta ferramenta da qualidade junta o diagrama em árvore com o diagrama matricial, permitindo identificar as opções prioritárias de acordo com os critérios definidos (Figura 2.20).

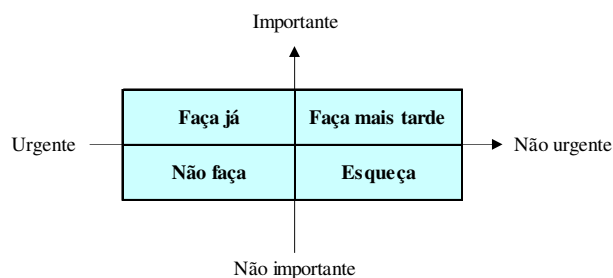


Figura 2.20- Matriz de prioridades.

Esta ferramenta de planeamento e gestão é utilizada se pretende tomar uma decisão importante e se está perante um conjunto de soluções concorrenciais.

2.2.4. Outras Ferramentas para a melhoria da Qualidade

5 Porquês

Ferramenta que consiste na formulação de uma pergunta “Porquê” cinco vezes como forma de compreender a causa-raiz do problema (Figura 2.21) (Costa & Mendes, 2018). Permite atingir a melhoria contínua em qualquer nível de uma organização.

Esta ferramenta é utilizada na resolução de problemas e na identificação e análise das causas que lhes deram origem (Pereira).

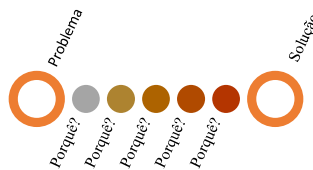


Figura 2.21- Exemplo implementação 5 porquês.

5S

A ferramenta 5S permite analisar, identificar e eliminar os desperdícios promovendo melhores condições de trabalho (Figura 2.22) (Pinto, 2008).

Baseia-se em 5 princípios:

Seiri: Classificação e organização – Remover os objetos que não são importantes e necessários.

Seiton: Ordenação e arrumação – Estabelece o local, disposição e identificação correta para cada objeto.

Seiso: Limpeza – Manter o local e o material de trabalho sempre limpos.

Seiketsu: Padronização -Manter as mesmas características em todos os espaços.

Shitsuke: Auto-disciplina – Adotar bons hábitos e costumes.



Figura 2.22- Ferramenta 5S.

Esta ferramenta apresenta inúmeras vantagens desde otimização do local de trabalho; Eliminação dos excessos e conhecimento de todos os produtos em stock; Limpeza e manutenção dos espaços e materiais; Redução dos custos com manutenção.

DOE (Design of Experiments)

O desenho de experiências é uma ferramenta da qualidade que permite selecionar a melhor combinação de vários níveis de fatores, com o intuito de otimizar o valor das características em estudo. O controlo dos fatores que afetam determinadas características permite escolher os melhores níveis para a redução do ruído e consequentemente satisfazer os requisitos estabelecidos. (Requeijo & Abreu, 2013)

FMEA

A Análise de modos de falha e seus efeitos (AMFE), do inglês Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) é uma técnica de análise sistemática de identificação e prevenção de problemas antes que eles ocorram (Figura 2.23). A AMFE é direcionada para a prevenção de defeitos, reforço da segurança e para o aumento de satisfação do cliente.

Análise do Tipo e Efeito de Falha																
Cod pec: Nome da Peça: Data: Folha No. de											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto					
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria			Índices Atuais			
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implementadas	S	O	D	R

S= Severidade O= Ocorrência D= Detecção R= Riscos

Figura 2.23- Formulário FMEA.

As vantagens da utilização deste método são as seguintes: baixa complexidade na elaboração e no custo. (Roos & Rosa, 2008).

Kaizen

Esta metodologia de melhoria contínua é utilizada para desenvolver soluções simples e com um custo baixo de forma a aumentar a qualidade e produtividade (Figura 2.24). A sigla KAIZEN significa: **KAI**: Mudar; **ZEN**: Melhor.

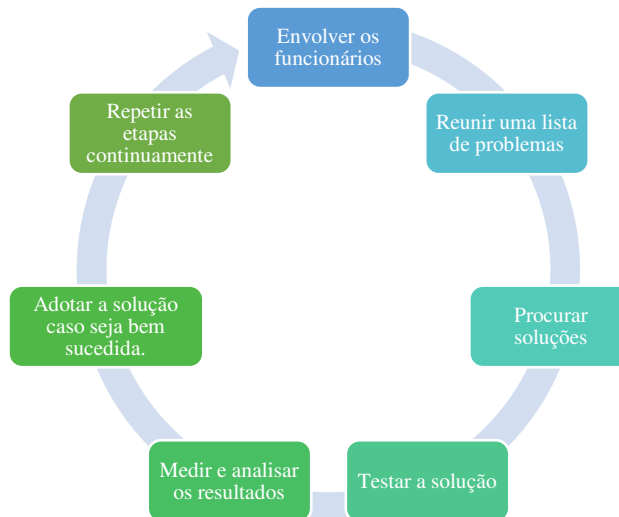


Figura 2.24- Ciclo Kaizen.

As vantagens da utilização da metodologia Kaizen são as seguintes: Promoção dos valores pessoais e profissionais; Criação de líderes nas organizações; Aumento da competitividade; Redução do desperdício; Criação de hábitos construtivos e positivos.

Kanban

O método Kanban permite controlar a gestão da produção e dos fluxos de informação baseados em cartões de aviso. Estes cartões permitem organizar a produção com base na procura do cliente (Figura 2.25) (Naufal et al., 2012).

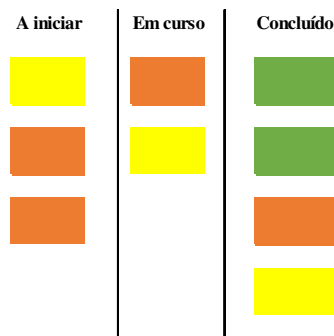


Figura 2.25- Sistema Kanban.

É um método que se demonstrou simples, eficaz e barato.

Poka-Yoke

Esta ferramenta representada por um dispositivo permite eliminar defeitos no produto através da prevenção, correção e detecção de possíveis erros a ocorrerem no processo. Estes erros segundo Shingo (1966) estão na maioritariamente relacionados com problemas de gestão, humanos e técnicos.

Relatório A3

O relatório A3 é uma ferramenta utilizada para propor soluções aos problemas existentes, registar e documentar toda a informação resultante das ações tomadas, de maneira que todos os colaboradores entendam as decisões tomadas (Matthews, 2011). É composto pelos seguintes campos de preenchimento: Caracterização do problema; Definição do target; Análise do problema; Plano das ações necessárias a realizar; Plano de implementação e Verificação e acompanhamento (Figura 2.26).

Relatório A3	
Caracterização do problema:	Plano das ações a realizar:
Definição do target desejado:	Plano de implementação:
Análise:	Verificação e acompanhamento:
Executado: _____	Data: _____

Figura 2.26- Relatório A3.

VM (Visual Management)

A ferramenta de gestão visual permite melhorar o sistema organizacional através do alinhamento da visão organizacional, valores, objetivos, partes interessadas e processos de trabalho através de estímulos que abordam os cinco sentidos humanos (Tjell et al, 2015).

VSM (Value Stream Mapping)

Esta ferramenta permite caracterizar o fluxo de informação e do material numa organização como forma de representar todas as etapas envolvidas e necessárias para responder às necessidades dos clientes (Figura 2.27). A utilização do mapeamento do fluxo de valor permite melhorar a cadeia de informação desde os fornecedores até aos clientes finais (Gomes, 2012).

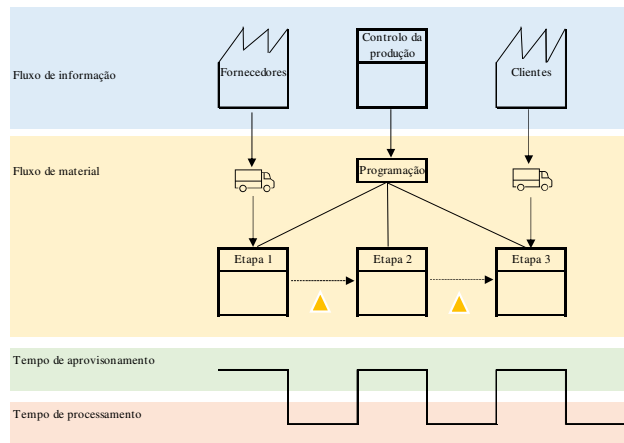


Figura 2.27- Mapeamento do fluxo de valor.

2.3. Controlo estatístico do processo

O controlo estatístico do processo utiliza ferramentas de controlo estatístico para monitorizar a e controlar o processo, garantindo a produção de material conforme. Estas ferramentas de controlo estatístico quando aplicadas ao controlo estatístico do processo permitem otimizar a informação necessária para uma tomada de decisão (Madanheire et al, 2006).

A implementação do controlo estatístico do processo (SPC) permite a deteção de causas especiais de variação do processo de forma a prevenir e/ou corrigir a produção de produtos não-conformes.

Existem inúmeros fatores que podem afetar a qualidade de um processo:

- Equipamento;
- Mão-de-obra;
- Matéria-prima;
- Meio ambiente;
- Metrologia;
- Métodos.

Estas fontes de variação podem originar alterações a longo e curto prazo no processo. Existem dois tipos de causas de variação (Pereira & Requeijo, 2012):

Causas comuns: Causas que afetam um processo sob controlo estatístico, estas são aleatórias.

Causas especiais: São causas que acontecem com pouca frequência e que não se inserem dentro da distribuição do processo que está sob controlo estatístico. Quando estas causas aparecem no processo então o mesmo está fora de controlo estatístico.

Segundo Woodall (2000), a distinção entre as causas comuns e especiais de variação depende do contexto do estudo, uma vez que uma causa comum pode se tornar numa causa especial amanhã.

Diz-se que o processo está sob controlo estatístico quando as distribuições dos dados de uma determinada característica são contantes ao longo do tempo. Quando se verifica alterações nesta distribuição considera-se que o processo está fora de controlo (Woodall, 2000).

As cartas de controlo têm mais do que uma aplicação num projeto de melhoria contínua. Usualmente são utilizadas para controlar o processo e monitorizar a sua estabilidade verificando se o mesmo funciona de acordo com os parâmetros estabelecidos.

Segundo Montgomery (2009) as cartas de controlo devem ser utilizadas como meio para recolher informação e consequentemente reduzir a variabilidade do processo.

A construção e implementação das cartas de controlo é caracterizada por ser um processo iterativo composto por duas fases distintas, Fase I e Fase II (Soveral, 2018).

Fase I: Recolha dos dados, verificação da estabilidade do processo e determinação dos parâmetros (Pereira & Requeijo, 2012).

- 1- Escolher qual é a característica de qualidade;
- 2- Criar um plano onde esteja indicado a dimensão da amostra, frequência de amostragem, equipamento e método para medir as amostras;
- 3- Selecionar qual é o tipo de carta a usar de acordo com a estatística amostral;
- 4- Recolher ao longo do processo m amostras de dimensão n por um período de tempo selecionado de forma a existir um total de N unidades ($N = m \times n$), para que $N \geq 100$;
- 5- Determinar para cada uma das m amostras a estatística que pretendemos controlar;
- 6- Calcular a linha central e os respetivos limites de controlo;
- 7- Procurar a existência de possíveis causas de variação especiais;
- 8- Caso se verifique, determinar pontos que evidenciem a existência de causas de variação especiais;
- 9- Determinar os limites estabelecidos e a linha central;
- 10- Construir a carta de controlo;
- 11- Confirmar se o processo apenas apresenta causas de variação comuns.

É necessário verificar a distribuição dos dados, isto é, se os mesmos seguem uma distribuição normal.

Fase II: Monitorização do processo produtivo de forma a verificar a existência de causas especiais de variação (Pereira & Requeijo, 2012).

- 1- Representar no gráfico os parâmetros determinados na fase 1 (LIC, LC, LSC);
- 2- Recolher a amostra i , determinar a estatística w_i e indicar os valores no gráfico;
- 3- Averiguar se esses valores representam causas de variação especial;
- 4- Caso exista situações fora de controlo, identificar as causas e ações corretivas;
- 5- Selecionar a amostra $i + 1$, calcular $w_{i + 1}$ e posteriormente demonstrá-lo no gráfico;
- 6- Repetir os passos 3, 4 e 5.

As cartas de controlo assumem um papel importante na prevenção destas causas uma vez que as mesmas permitem a sua deteção. As vantagens na sua utilização são as seguintes:

- Distinguir as causas especiais das causas comuns (Esta distinção permite-nos avaliar se os problemas devem ser resolvidos ao nível gestão de topo ou ao nível da produção, evitando custos desnecessários.);
- Verificar a estabilidade do processo, estimar os parâmetros e monitorizar o processo;
- Prevenir o aparecimento de produto não conforme (As cartas permitem detetar e prevenir a ocorrência de produtos fora de especificação).

2.3.1. Regras de deteção de causas especiais

A existência de pontos que não segue uma aleatoriedade ou que não se encontrem dentro dos limites de controlo, verificamos que existem causas especiais de variação. Estas causas implicam um aumento dos custos da qualidade, uma vez que passa a existir um aumento do número de falsos alarmes. Segundo o livro Western Electric Handbook, existem oito regras que indicam a presença de regras especiais de variação, posteriormente estas regras foram incluídas na norma ISO 8258:1991 (Figura 2.28). As regras são as seguintes:

Regra 1 - Qualquer ponto fora dos limites $\pm 3\sigma_\omega$;

Regra 2 - Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central;

Regra 3 - Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente;

Regra 4 - Catorze pontos consecutivos, como um comportamento crescente e decrescente de forma alternada;

Regra 5 - Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central;

Regra 6 - Quatro de cinco pontos consecutivos na zona A ou B, do mesmo lado da linha central;

Regra 7 - Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central;

Regra 8 - Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem que exista nenhum na zona C.

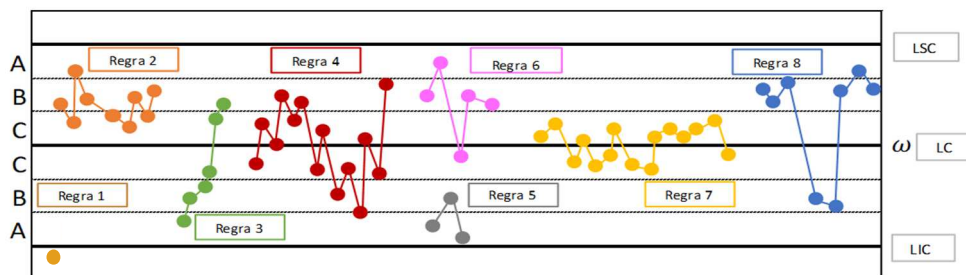


Figura 2.28- Regras de deteção para causas especiais, padrões não aleatórios (Adaptado da norma ISO 8258:1991).

Para que seja possível a aplicação destas regras de deteção especial é necessário que os limites de controlo $LC \pm 3\sigma_\omega$, esteja dividido em seis zonas com largura de $1\sigma_\omega$, designadas por A, B, C, C, B, A, onde C é considerada como a zona simétrica em relação à linha central (Figura 2.29) (Pereira & Requeijo, 2012).

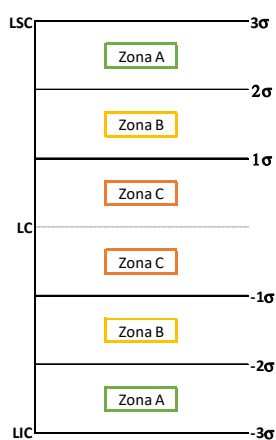


Figura 2.29- Zonas de deteção especial.

2.3.2. Cartas de controlo tradicionais

Existem dois tipos de cartas de controlo utilizadas no controlo estatístico do processo, as cartas de controlo de variáveis e as cartas de controlo de atributos, estas distinguem-se pelas características dos dados obtidos (Tabela 2.4).

Tabela 2.4- Cartas de controlo de variáveis e de atributos existentes.

Cartas de controlo de variáveis		Cartas de controlo de atributos	
Aplicadas a medidas que podem ser medidas e expressas numa escala contínua.		Aplicadas quando não é possível fazer a medição de uma característica numa escala contínua.	
Média e Amplitude	Carta \bar{X}	Proporção de unidades não conformes	Carta p
	Carta R		
Média e Desvio Padrão	Carta \bar{X}	Número de unidades não conformes	Carta np
	Carta S		
Média e Variância	Carta \bar{X}	Número de defeitos	Carta c
	Carta S^2		
Mediana e Amplitude	Carta \tilde{X}	Número de defeitos por unidade	Carta u
	Carta R		
Observações Individuais e Amplitudes Móveis	Carta X		
	Carta MR		

Cartas de controlo de variáveis

As cartas de controlo de variáveis apresentam inúmeras vantagens das quais, necessitam de menos informação, o tempo necessário para detetar um problema e resolvê-lo é menor, desta forma existe menos

produção de não conformidades. Apesar de ser um processo de controlo mais caro, a recolha da informação de variáveis contínua é baixa, o que proporciona a que o custo total seja menor do que quando é usado um controlo de atributos. (Montgomery, 2009)

Na fase 1 são estimados os parâmetros do processo, a tabela 2.5 expressa as fórmulas para as diversas cartas de controlo de variáveis existentes.

Tabela 2.5-Parâmetros do processo para cartas de controlo de variáveis (Fase 1).

Tipos de Cartas		Média	Desvio Padrão
Carta \bar{X}	Média e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Carta R			
Carta \bar{X}	Média e Desvio Padrão	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4}$
Carta S			
Carta \bar{X}	Média e Variância	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \bar{S}^2$
Carta S^2			
Carta \tilde{X}	Mediana e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Carta R			
Carta X	Observações Individuais e Amplitudes Móveis	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$
Carta MR			

Os limites de controlo referentes às diversas cartas de controlo de variáveis estão expressos na tabela 2.6.

Tabela 2.6- Tipos e aplicações de cartas de controlo de variáveis (Fase 2).

Tipos de Cartas		LIC	L	LSC	Aplicações
Carta \bar{X}	Média e Amplitude	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$	Dados agrupados
Carta R		$D_3\bar{R}$	\bar{R}	$D_4\bar{R}$	
Carta \bar{X}	Média e Desvio Padrão	$\bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$	Dimensão da amostra >10
Carta S		$B_3\bar{S}$	\bar{S}	$B_4\bar{S}$	
Carta \bar{X}	Média e Variância	$\bar{\bar{X}} - 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$	Alternativa às cartas da média e do desvio padrão
Carta S^2		$\frac{\bar{S}^2}{n-1}\chi^2_{(1-\frac{\alpha}{2});n-1}$	\bar{S}^2	$\frac{\bar{S}^2}{n-1}\chi^2_{\frac{\alpha}{2};n-1}$	
Carta \tilde{X}	Mediana e Amplitude	$\bar{\tilde{X}} - \tilde{A}_2\bar{R}$	$\bar{\tilde{X}}$	$\bar{\tilde{X}} + \tilde{A}_2\bar{R}$	Quando não se pretende fazer o cálculo para as cartas \bar{X} .
Carta R		$D_3\bar{R}$	\bar{R}	$D_4\bar{R}$	
Carta X	Observações Individuais e Amplitudes Móveis	$\bar{X} - \frac{3\overline{MR}}{d_2}$	\bar{X}	$\bar{X} + \frac{3\overline{MR}}{d_2}$	Monitorizar as médias dos dados dos processos quando os grupos amostrais não são adequados.
Carta MR		$D_3\overline{MR}$	\overline{MR}	$D_4\overline{MR}$	

No presenta caso de estudo, verifica-se que as cartas de controlo de variáveis mais adequadas são as cartas de observações individuais e amplitudes móveis, uma vez que se verifica que as amostras recolhidas são destrutivas.

Carta de observações individuais e amplitudes móveis

Este tipo de cartas são normalmente utilizadas em amostras que são destrutivas, isto é, quando não se torna possível a recolha de mais do que uma observação. A recolha de dados individuais não é possível quando se recorre á criação de amostras fictícias compostas por observações consecutivas no qual é calculada a amplitude móvel.

$$|X_2 - X_1|, |X_3 - X_2|, \dots, |X_m - X_{m-1}| \quad (2.4)$$

Os limites para as cartas X e MR são dados pelas seguintes equações:

Carta X

$$LSC_X = \bar{X} + 3\sigma_x = \bar{X} + \frac{3\overline{MR}}{d_2} \quad (2.5)$$

$$LC_x = \bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (2.6)$$

$$LIC_X = \bar{X} - 3\sigma_x = \bar{X} - \frac{3\overline{MR}}{d_2} \quad (2.7)$$

Carta MR

$$LSC_{MR} = D_4 \overline{MR} \quad (2.8)$$

$$LC_{MR} = \overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} MR_i \quad (2.9)$$

$$LIC_{MR} = D_3 \overline{MR} \quad (2.10)$$

Os parâmetros D_3 , D_4 e d_2 podem ser retirados da tabela presente no anexo III (figura III.1).

Carta de pré-controlo

Como forma de evitar custos desnecessários com correções, são muitas vezes utilizadas as cartas de pré-controlo. Estas cartas permitem observar se as correções implementadas convergem para a especificação estabelecida e se a variabilidade natural do processo está ajustada às especificações (Pereira & Requeijo, 2012). São simples de usar e de configurar e podem ser usadas durante as operações de configuração de um produto, mas não podem ser usadas para estudar a capacidade do processo (Presentationeze).

A construção e análise deste tipo de cartas é a seguinte:

- O valor da linha central é o valor média da especificação: $LC_{PC} = \frac{LSE+LIE}{2}$;

- Os limites de especificação são os limites de pré-controlo;
- São definidos dois pontos intermédios entre a linha central e os limites de pré-controlo, linha PC_s (linha pré-controlo superior) e PC_i (linha de pré-controlo inferior);
- Definir três zonas acima e abaixo da linha central, zona vermelha, zona amarela e zona verde (Figura 2.30).

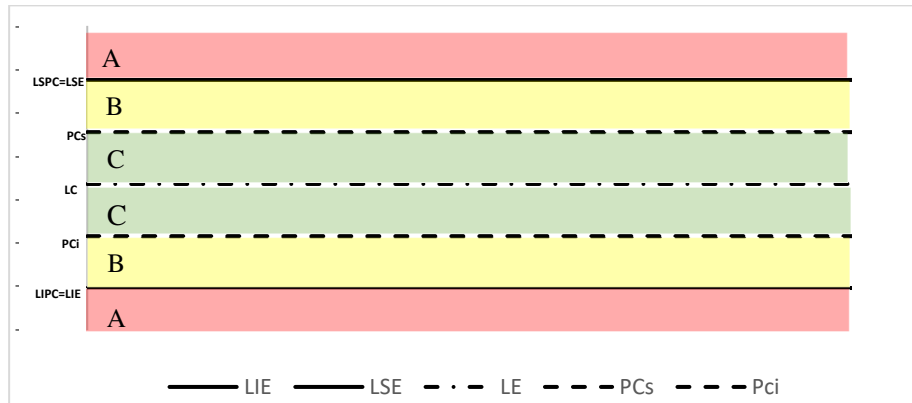


Figura 2.30- Zonas da carta de pré-controlo.

- Representar os valores recolhidos na carta de pré-controlo;

Após a construção da carta de pré-controlo, as decisões a tomar são as seguintes:

- Um ponto da zona vermelha (A), indica que o processo deve ser de imediato suspenso e ajustado;
- Dois pontos na zona amarela (B) do mesmo lado da linha central, indica que o processo deve ser ajustado de imediato;
- Dois pontos na zona amarela, um de cada lado da linha indica que o processo deve ser suspenso e ajustado de imediato de forma a evitar variações no valor de característica, X;
- Um ponto na zona B e na zona C (consecutivos) indica que o processo pode continuar a produção sem ser necessário realizar ajustes;
- Cinco pontos na zona verde, C, indica que o processo está estável e que a produção pode continuar sem preocupações.

Carta de controlo de atributos

Os gráficos de atributos são muito úteis na indústria de serviços e na melhoria da qualidade de não produtores uma vez que na maioria das características da qualidade nesses ambientes não são facilmente medidas numa escala numérica (Montgomery, 2009). Os parâmetros estabelecidos para estas cartas estão indicados na tabela 2.7.

Tabela 2.7- Parâmetros definidos para as cartas de controlo de atributos.

Tipos de Cartas		Base dos limites	LIC	LC	LSC
Carta p	Proporção de unidades não conformes	n	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	\bar{p}	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
		n_i	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$	\bar{p}	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$
		\bar{n}	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$	\bar{p}	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$
		Carta normalizada, Z_p	-3	0	+3
Carta np	Número de unidades não conformes	n_i	$n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{p}$	$n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
Carta c	Número de defeitos	n	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	\bar{c}	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
Carta u	Número de defeitos por unidade	n	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	\bar{u}	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$
		n_i	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	\bar{u}	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$
		\bar{n}	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$	\bar{u}	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$
		Carta normalizada, Z_u	-3	0	+3

2.3.3. Capacidade do processo

As cartas de controlo permitem verificar se o processo se encontra sob controlo estatístico, desta forma torna-se possível concluir se o mesmo tem capacidade para produzir dentro das especificações estabelecidas para um determinado produto. A realização de uma análise mais detalhada à capacidade do processo permite comparar a distribuição de uma determinada característica com as especificações anteriormente estabelecidas. Este estudo permite:

- ✓ Escolher os fornecedores mais adequados;
- ✓ Reduzir a variação existente no processo;
- ✓ Averiguar se o processo é capaz de produzir com base nas especificações estabelecidas;
- ✓ Selecionar ou modificar um determinado processo ou máquina.

Capacidade do processo para dados normalmente distribuídos

Os índices de capacidade do processo permitem avaliar de que forma o processo se comporta e produz com base nas especificações estabelecidas. Existem três gerações de índices de capacidade, a primeira geração C_p , segunda geração C_{pk} e C_{pm} e terceira geração C_{pmk} (Montgomery, 2005).

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (2.11)$$

C_p - Índice de capacidade potencial;

LSE – Limite superior de especificação;

LIE – Limite inferior de especificação.

Apesar de ser considerado que um $C_p = 1,33$ é um valor aceitável para processos com especificação bilateral, o mesmo pode estar a produzir material não conforme, uma vez que a sua média não está centrada no valor nominal.

O índice C_{pk} é determinado com o auxílio das seguintes expressões:

$$C_{pk} = \min \left((C_{pk})_I, (C_{pk})_S \right) \quad (2.12)$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu-LIE}{3\sigma} \quad (2.13)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE-\mu}{3\sigma} \quad (2.14)$$

Considera-se que o processo é capaz para uma especificação bilateral quando se verifica que $C_{pk} \geq 1,33$ e que está centrado quando $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S$. Quanto maior for o valor de C_{pk} , menor será a probabilidade de a característica em estudo estar fora dos limites de especificação. Para situações em que se verifica que a especificação é unilateral, o índice de capacidade é determinado a partir das equações 22 e 23, e o processo é considerado capaz para valores de $C_{pk} \geq 1$.

Seguindo os mesmos princípios do C_p , o índice de C_{pm} , apresenta diferenças ao nível do intervalo da tolerância natural do processo, mais especificamente o desvio da média em relação ao valor nominal \bar{T} da característica.

$$C_{pm} = \frac{LSE-LIE}{6\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}} \quad (2.15)$$

O índice C_{pmk} , considera tal como o índice C_{pm} o intervalo de tolerância natural do processo, o desvio da média em relação ao valor nominal.

$$C_{pmk} = \frac{\min(LSE-\mu, \mu-LIE)}{3\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}} \quad (2.16)$$

Capacidade do processo para dados não normais

Quando se verifica que os dados relativos à característica X, são independentes, mas não segue uma distribuição normal é necessário transformá-lo para que posteriormente possam ser aplicados. Uma das opções a aplicar para que os dados possam ser utilizados é pela transformação de Box e Cox, onde a variável Z é transformada para que se verifique uma distribuição normal.

2.3.4. Cartas de controlo Especiais

Como forma de se adaptarem as novas realidades de produção, pequenas quantidades, mas grande diversidade de produtos, tornou-se necessário a criação de técnicas mais específicas. As cartas de controlo especiais, Carta de Somas Acumuladas (CUSUM) e Carta da Média Móvel Exponencialmente Amortecida (EWMA) permitem aumentar a sensibilidade na deteção de não conformidades sem que exista um aumento dos custos. Estas cartas vêm colmatar uma das grandes desvantagens das cartas de Shewart que é a fraca sensibilidade para pequenas alterações que ocorram no processo produtivo, uma vez que apenas a informação da última amostra.

Apesar de terem a mesma finalidade, as cartas CUSUM mantêm a constante a ponderação atribuída a cada observação enquanto as cartas EWMA integram toda a informação das observações anteriores e atribuem maior ponderação às observações mais recentes (Nezhad & Niaki, 2010).

Carta de Somas Acumuladas - CUSUM

As cartas de controlo de somas acumuladas (CUSUM) foram desenvolvidas para detetar a tendência e as pequenas alterações que se verificam nos dados a tratar. Para a sua construção é necessário definir duas variáveis T e C, dada para um instante t:

$$T_t = \min(0, T_{t-1} + (Z_t + k)) \quad (2.17)$$

$$C_t = \max(0, C_{t-1} + (Z_t + k)) \quad (2.18)$$

Onde,

$$T_0 = 0 \quad (2.19)$$

$$C_0 = 0 \quad (2.20)$$

$$Z_t = \frac{\bar{x}_t - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{\bar{x}_t - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (2.21)$$

$$\Delta = \delta \sigma_{\bar{x}} \quad (2.22)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{\Delta \sqrt{n}}{\sigma} \quad (2.23)$$

$$k = \frac{\delta}{2} \quad (2.24)$$

\bar{X}_t – Média da amostra t ;

μ – Valor inicial da média do processo;

σ – Desvio padrão do processo;

n – Dimensão da amostra;

Z_t – Variável Normal reduzida referente a \bar{X}_t ;

k – Valor de referência.

A variável T permite detetar se existe um decréscimo na média e C permite detetar um aumento na média. Caso se verifique a existência de uma destas variações apresentadas, o processo encontra-se fora de controlo estatístico, verificando-se uma das seguintes condições abaixo descritas.

$$T_t < -h \quad (2.25)$$

$$C_t > h \quad (2.26)$$

Neste sentido, os limites inferior e superior para esta carta são respetivamente $-h$ e h .

Quando existe uma alteração ao processo torna-se necessário recalculer o valor da média do processo, dado pela seguinte equação:

$$\mu_{novo} = \begin{cases} \mu + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \left(k + \frac{C_t}{N_C} \right), & \text{se } C_t > h \\ \mu - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \left(k - \frac{T_t}{N_T} \right), & \text{se } T_t < -h \end{cases} \quad (2.27)$$

N_T e N_C – Número de períodos consecutivos para T e C diferentes de 0.

Carta da Média Móvel Exponencialmente Amortecida - EWMA

Utilizadas para controlar a média do processo, estas cartas de controlo são outra alternativa para a deteção de pequenas alterações, que têm como base a variável exponencial amortecida E .

$$EWMA_t = E_t = (1 - \lambda)E_{t-1} + \lambda Y_t \quad t = 1, 2, \dots \quad (2.28)$$

$$0 < \lambda \leq 1$$

E_t – Média móvel exponencialmente amortecida para o instante t ;

λ – Constante de amortecimento;

Y_t – Valor da variável Y no instante t ;

A carta EWMA é feita com base nos pares ordenados (t, E_t) , verificando-se uma alteração na média do processo, caso se verifique que E_t se encontra fora dos limites de controlo.

$$LSC_E = E_0 + K_{\sigma E} \quad (2.29)$$

$$LC_E = E_0 \quad (2.30)$$

$$LIC_E = E_0 - K_{\sigma E} \quad (2.31)$$

$$\sigma_E^2 = \sigma_Y^2 \frac{\lambda}{(2-\lambda)} (1 - (1 - \lambda)^{2t}) \quad (2.32)$$

σ_E^2 – Variância da variável E ;

E_0 – Valor da variável E ($E_0 = \mu_Y$);

K – Constante (nível de controlo) para um determinado λ e $ARL_{EmControlo}$.

2.3.5. Controlo estatístico para “pequenas produções”

Os métodos de controlo estatístico têm uma ampla aplicação em diversos setores de negócio. Para produções em pequenas quantidades, num curto período de tempo ou por lotes existem inúmeras técnicas e gráficos de controlo estatístico que sem mostram bem-sucedidas no combate à minimização de custos e da produção de não conformidades.

A minimização dos custos e a redução da produção de não-conformidades tornam-se em objetivos prioritários para que uma empresa consiga atingir o sucesso perante a concorrência.

O conceito de *short run* ou pequenas produções é aplicado quando determinados critérios estabelecidos são cumpridos:

- 1) Produção de um número limitado de lotes;
- 2) As unidades produzidas são em baixo número (menos de 20 unidades) e existe um intervalo de tempo distante entre cada nova produção;
- 3) O número de unidades é maior que 100 independentemente que o tempo de produção seja grande.

Em pequenas produções é aplicado na fase I as cartas de controlo de Shewart como forma de verificar a estabilidade do processo e determinar os parâmetros de controlo. Após o processo controlado segue-se a fase II, onde existe a monitorização do processo, neste caso são aplicadas as cartas abaixo. (Abreu et al, 2017)

Estas cartas de controlo podem ser aplicadas em duas situações distintas, quando existe informação disponível sobre o processo ou quando o número de dados disponíveis é insuficiente para a sua aplicação (Tabela 2.8).

Tabela 2.8- Aplicação, tipo de cartas e critérios de aplicação para pequenas produções.

Aplicação	Tipos de cartas	Crítérios de aplicação
Número de dados suficientes	Cartas de diferenças - Cartas D	Representação de diversas características na mesma carta que são independentes do tipo de produto em estudo.
	Cartas Z e w	Existem diferenças significativas na variância das características.
Número de dados insuficientes	Cartas Q	Controlo de produções que são feitas em lotes, uma vez que o número de unidades é reduzido para que seja realizada uma estimação mais eficaz dos parâmetros.
	Cartas CUSUMQ e EWMAQ	Variações especiais, isto é, são detetadas variações pequenas.

A figura 2.31 permite decidir qual a melhor carta a utilizar em pequenas produções.

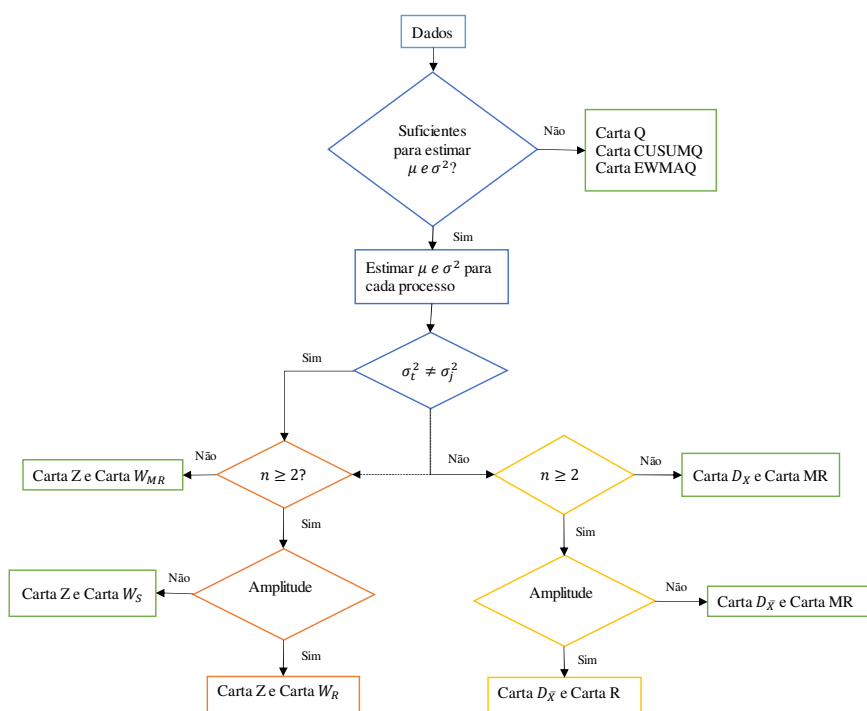


Figura 2.31- Metodologia de escolha da carta de controlo mais adequada para pequenas produções (adaptado de Pereira & Requeijo, 2012).

Cartas de controlo de diferenças – D

Aplicadas por norma durante a fase 2 do processo, isto é, durante a fase de monitorização do controlo estatístico do processo, utilizam os parâmetros previamente determinados na fase 1. A obtenção dos valores de dispersão é feita através da utilização das cartas de controlo de Schewart: Carta R, Carta S, Carta S² e Carta MR.

Uma das condições necessárias para a aplicação das cartas D é o facto de não existirem diferenças entre as variâncias dos diferentes processos. De forma a garantir essa condição deve ser estudado estes dois métodos, teste de homogeneidade da variância e método empírico.

Os limites estabelecidos estão presentes na tabela 2.9.

Tabela 2.9- Tipos de cartas e aplicações para cartas de controlo de diferenças.

Tipos de cartas		LIC	LC	LSC	Aplicação
Média e da amplitude	Carta $D\bar{X}$	$-A_2\bar{R}$	0	$A_2\bar{R}$	Representar na mesma carta de controlo todos os dados que foram obtidos para as diferentes características, relativamente às médias e amplitudes.
	Carta R	$D_3\bar{R}$	\bar{R}	$D_4\bar{R}$	
Média e do Desvio Padrão	Carta $D\bar{X}$	$-A_3\bar{S}$	0	$A_3\bar{S}$	Utilização de médias amostrais e desvios padrões das amostras.
	Carta \bar{S}	$B_3\bar{S}$	\bar{S}	$B_4\bar{S}$	
Observações Individuais e da Amplitude Móvel	Carta $D\bar{X}$	$-\frac{3}{d_2}\overline{MR}$	0	$\frac{3}{d_2}\overline{MR}$	As variâncias das diversas características do processo não são significativamente diferentes.
	Carta \overline{MR}	$D_3\overline{MR}$	\overline{MR}	$D_4\overline{MR}$	

Cartas de controlo Z e W

A utilização de cartas de controlo Z e W torna necessário transformar os dados da variância em valores dimensionais. Desta forma é necessário considerar valores para a média e variância para cada característica.

Os limites estabelecidos para as diferentes cartas Z e W estão indicados na tabela 2.10.

Tabela 2.10- Tipos de Cartas de controlo Z e W.

Tipos de cartas		LIC	LC	LSC
Média e da amplitude	Carta $Z_{\bar{X}}$	-3	0	3
	Carta W_R	D_3	1	D_4
Média e do desvio padrão	Carta $Z_{\bar{X}}$	-3	0	3
	Carta W_S	B_3	1	B_4
Observações individuais e amplitude móvel	Carta Z_x	-3	0	3
	Carta W_{MR}	D_3	1	D_4

Cartas de controlo Q

Desenvolvidas por Charles Quesenberry para resolver o problema do controlo estatístico por lotes. As cartas de controlo Q consistem na transformação da característica X numa variável Q. A variável Q segue uma distribuição normal reduzida com $\mu = 0$ e variância unitária. Os limites estabelecidos para as cartas de controlo estão indicados na tabela 2.11.

Tabela 2.11- Tipos de cartas, limites e aplicação para cartas de controle Q.

Tipos de cartas		LIC	LC	LSC	Aplicação
Observações individuais e Amplitudes móveis	Carta $Q(X)$ Carta $Q(MR)$	-3	0	3	Quando não é possível a recolha de amostras e os dados obtidos dizem respeito a observações individuais para uma determinada característica.
	Carta $W(MR)$	d_2D_3	d_2	d_2D_4	Dados não são normalmente distribuídos.
Média e Variância	Carta $Q(\bar{X})$ Carta $Q(S^2)$	-3	0	3	Número insuficiente de dados para estimar os parâmetros, média e variância.

Observações individuais e amplitudes móveis

A característica Q para as observações individuais, X_r , num instante r é determinada pela seguinte equação:

$$Q_r(X_r) = \phi^{-1} \left(G_{r-2} \left(\sqrt{\frac{r-1}{r}} \left(\frac{X_r - \bar{X}_{r-1}}{S_{r-1}} \right) \right) \right) \quad r = 3, 4, \dots \quad (2.33)$$

r é o instante em que se está a analisar esta mesma característica;

X_r - Observação no instante r ;

\bar{X}_{r-1} - Média de $(r - 1)$ observações;

ϕ^{-1} - Inverso da função de distribuição normal;

G_{r-2} - Função de distribuição t-student com $(r - 2)$ graus de liberdade;

S_{r-1} - Desvio padrão $(r - 1)$ observações, obtido através da seguinte equação;

S_r - Desvio padrão no instante r , é obtido pela equação

$$S_r^2 = \left(\frac{r-2}{r-1} \right) S_{r-1}^2 + \frac{1}{r} (X_r - \bar{X}_{r-1})^2 \quad r = 3, 4, \dots \quad (2.34)$$

Para as amplitudes móveis, MR_r , a característica Q , para um determinado instante r , é dada pela seguinte equação:

$$Q_r(MR_r) = \phi^{-1} \left(F_{1,\nu} \left(\frac{\nu(MR)_r^2}{(MR)_2^2 + (MR)_4^2 + \dots + (MR)_{r-2}^2} \right) \right) \quad r = 4, 6, \dots \quad (2.35)$$

r é o instante em que se está a analisar esta mesma característica;

MR_r - Amplitude móvel no instante r ;

$F_{1,\nu}$ - Função de distribuição de Fisher com 1 e ν graus de liberdade;

ν - Graus de liberdade, obtidos pela seguinte equação:

$$v = \frac{r}{2} - 1 \quad (2.36)$$

As características MR_r e \bar{X}_r são determinadas através das seguintes expressões:

$$\bar{X}_r = \frac{1}{r}(r-1)\bar{X}_{r-1} + X_r \quad r = 2, 3, \dots \quad (2.37)$$

$$MR_r = |X_r - X_{r-1}| \quad (2.38)$$

Se existirem dois dados seguidos com o mesmo valor o valor de $Q_r(MR_r)$ é obtido através da seguinte expressão:

$$Q_r(MR_r) = \phi^{-1}\left(F_{1,v}(0)\right) = \phi^{-1}(0) = -\infty \quad (2.39)$$

Os limites estabelecidos para a carta $Q_{(X)}$ e para a $Q_{(MR)}$ são os seguintes:

$Q_{(X)}$

$$LSC_{Q(X)} = 3$$

$$LC_{Q(X)} = 0 \quad (2.40)$$

$$LIC_{Q(X)} = -3$$

$$LSC_{Q(MR)} = 3$$

$$LC_{Q(MR)} = 0 \quad (2.41)$$

$$LIC_{Q(MR)} = -3$$

De forma a contornar esta situação, é possível obter os dados necessários através da estatística $W(MR)$ em alternativa à $Q(MR)$. $W(MR)$ é calculada para um instante r :

$$W_r(MR_r) = |Q_r(X_r) - Q_{r-1}(X_{r-1})| \quad r = 4, 5, \dots \quad (2.42)$$

Para a carta $W(MR)$, os limites estão definidos através da seguinte expressão:

$$LSC_{W(MR)} = d_2 D_4$$

$$LC_{W(MR)} = d_2 \quad (2.43)$$

$$LIC_{W(MR)} = d_2 D_3$$

As constantes d_2 , D_3 e D_4 são determinadas com recurso ao anexo III

Capacidade do processo

Devido ao número de dados usados para a construção destas cartas, torna-se essencial verificar se o processo é capaz. Para as cartas Q , os índices de capacidade Q_S e Q_I desenvolvidos por Pereira e Requeijo, para um instante r , são determinados através das expressões abaixo referidas.

$$(\hat{Q}_I)_r = \frac{LIE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \quad (2.44)$$

$$(\hat{Q}_S)_r = \frac{LSE - \hat{\mu}_r}{k\hat{\sigma}_r} \quad (2.45)$$

$k = 1,25$ para especificações unilaterais e $k = 1,33$ para especificações bilaterais;

$\hat{\mu}_r$ - Parâmetro utilizado para estimar a média;

$$\hat{\mu}_r = \bar{X}_r \quad (2.46)$$

$\hat{\sigma}_r$ - Parâmetro utilizado para estimar o desvio padrão;

$$\hat{\sigma}_r = \frac{S_r}{c_4} \quad (2.47)$$

O parâmetro c_4 é determinado a partir do anexo III

Considera-se que o processo é capaz quando se verifica a seguinte condição $(\hat{Q}_I)_r \leq -3$ e ou $(\hat{Q}_S)_r \geq 3$.

2.3.6. Distribuição normal

Para que exista um controlo de processo bem-sucedido é essencial compreender como aparecem as variações no sistema. Na indústria verifica-se frequentemente a necessidade de determinar a percentagem de produtos que estão fora dos limites de especificação definidos. (Oakland, 2003)

Para uma correta aplicação do controlo estatístico do processo torna-se necessário verificar se os dados obtidos a partir do processo seguem uma distribuição normal. Existem dois métodos que são considerados rápidos e acessíveis para que se consiga verificar se os dados seguem ou não uma distribuição normal, o histograma e a representação gráfica (Normal probability plot).

Para a sua aplicação é efetuar os seguintes passos:

- Ordenar os dados obtidos por ordem crescente;
- Atribuir uma ordem de forma a indicar o nível e posição para cada dado;
- Determinar os valores das frequências acumuladas a serem observadas no gráfico. As frequências são obtidas através da seguinte expressão:

$$P_i = \frac{i-0,5}{n} \times 100(\%) \quad (2.48)$$

P_i – Frequência acumulada para a observação i ;

i – Posição/ nível da observação;

n – Número de observações.

- Representar graficamente os valores calculados;
- Fazer o ajustamento de uma linha retilínea aos dados representados, caso se verifique que estes estão próximos desta reta, então conclui-se que os mesmos seguem uma distribuição normal.

Segundo o autor Pereira & Requeijo, é aconselhável realizar testes estatísticos mais objetivos, como o teste do Qui-Quadrado ou o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Caso se verifique que não existe normalidade dos dados, é necessário tratá-los antes de serem aplicadas as cartas de controlo. Segundo a ISSO 7870-5:2014, devem ser utilizados os seguintes métodos para correção dos dados:

- Transformar os dados através do método de Box-Cox;
- Aumentar o tamanho da amostra pelo teorema do limite central.

Teste do Qui-Quadrado

Avalia a aderência entre uma distribuição de frequências de uma amostra com dimensão n e uma distribuição teórica. Este teste baseia-se na comparação da distribuição normal com a distribuição amostral dos dados.

Necessita que a amostra seja aleatória e com dimensão $n \geq 30$.

Teste de Kolmogorov-Smirov

O teste de Kolmogorov-Smirov permite avaliar se uma dada amostra segue uma determinada distribuição, avaliando para uma variável aleatória X , como é o ajustamento da função de distribuição normal, $S(x)$, $S(x) = P(X \leq x)$ relativamente à função de distribuição da população, $F_0(x)$.

Quando comparado com o teste Qui-Quadrado, o teste de Kolmogorov-Smirov apresenta algumas vantagens e desvantagens. A nível de vantagens temos:

- Caso se verifique que a distribuição é contínua e os parâmetros são conhecidos, a distribuição da estatística é definida de forma rigorosa enquanto χ_0^2 segue uma distribuição aproximada;
- O teste Kolmogorov-Smirov é mais forte que o teste Qui-Quadrado.

A nível de desvantagens, o teste Kolmogorov-Smirov necessita de distribuições populacionais contínuas e específicas, o que não se verifica com o teste Qui-Quadrado.

A aplicação do teste de Kolmogorov-Smirov segue uma determinada metodologia, os passos seguintes demonstram todos os dados que devem ser abordados:

- Enunciar o critério para a Hipótese nula e para a Hipótese alternativa:

$$H_0: F(x) = F_0(x), \text{ para todos os valores de } X \quad (2.49)$$

$$H_1: F(x) \neq F_0(x), \text{ para algum valor de } X \quad (2.50)$$

- Retirar uma amostra aleatória de uma população com n elementos;
- Ordenar os dados das amostras por ordem crescente, com a observação de ordem i designada por $x_{(i)}$, onde $x_{(i+1)} > x_{(i)}$;
- Calcular os valores de $S(x)$, $F_0(x)$ e $|S(x) - F_0(x)|$, para valores de $i = 1, 2, \dots, N$, com $N \leq n$;
- Calcular a estatística de teste.

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.51)$$

Quando apenas são considerados os valores de X , $\left(\sup_x |S(x) - F_0(x)|\right)$ pode assumir valores menores que $|S(x) - F_0(x)|$, uma vez que $F_0(x)$ é uma função contínua, $S(x)$ uma função em escada e o valor máximo de $|S(x) - F_0(x)|$, é determinado na vizinhança de X .

- Especificar o valor do α , nível de significância;
- Fazer a comparação do valor obtido através do teste D com o D_{critico} , valor crítico;

D_{critico} pode ser obtido por duas vias:

- ❖ Quando os parâmetros da população são conhecidos, o valor é determinado a partir da tabela de Kolmogorov;
- ❖ Quando os parâmetros são estimados, o valor é obtido pela tabela H.W. Lilliefors, anexo III (figura III.2);
- Definir o critério de decisão.

A hipótese nula, H_0 , é rejeitada quando para um nível de significância α ,

$$D > D_{\text{critico}} \quad (2.52)$$

Quando H_0 é rejeitada conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal.

3. Caso de estudo

3.1. Enquadramento

A Poliversal - Plásticos e Tecnologia, S.A. é uma empresa com uma forte relação de confiança com os seus clientes. Com uma reputação sólida no mercado, é reconhecida por clientes e concorrentes mantendo a sua posição como líder nacional num setor com muita concorrência.

Um masterbatch é um composto polimérico que tem na sua constituição um ou mais aditivos e/ou pigmentos com elevadas concentrações (Souza, 2017).

Os principais setores de aplicação são embalagens, materiais de construção, equipamento médico, mobiliário, automóveis, equipamento eletrónico, desporto e agricultura (Almeida & Vaz, 2019)

Os masterbatches apresentam inúmeras vantagens para a indústria transformadora de plásticos, uma vez que o processo de manipulação é mais fácil, económico e limpo em relação a aditivos em pó ou líquidos. A nível de custos também se torna mais vantajoso a utilização do MB uma vez que permite aditivar ou colorir elevadas quantidades de plásticos, utilizando uma pequena quantidade de MB.

3.1.1. Matérias-primas – plásticos e aditivos

Plásticos

Um polímero é constituído por pequenas unidades, monómeros, que ligadas entre si formam cadeias poliméricas longas. Este é obtido a partir de reações químicas, conhecidas como reações de polimerização, entre espécies de baixo peso molecular, monómeros.

Existem três tipos de materiais poliméricos, os termoplásticos, termoendurecíveis e os elastómeros. Os termoplásticos são constituídos por cadeias poliméricas com ligações intermoleculares fracas, o que permite a que o mesmo possa sofrer o processo de aquecimento e arrefecimento inúmeras vezes sem perdas ao nível das propriedades. Para adquirirem uma determinada forma e estrutura passam por duas fases, a primeira onde existe aplicação de calor e consequentemente quebra de ligações e numa segunda fase um arrefecimento onde ocorre a sua solidificação. (Strong, 2006)

Os termoplásticos mais comuns são o Polietileno (PE), Polipropileno (PP) e o Poliestireno (PS).

O poliestireno (PS) cristal é um termoplástico amorfo, utilizado em aplicações onde é exigido elevada rigidez e transparência. O poliestireno de alto impacto (HIPS) é uma variante do PS misturado com uma % de butadieno (borracha).

O copolímero estireno-acrilonitrila (SAN) resulta da co-polimerização do estireno com o acrilonitrilo. Este polímero apresenta uma elevada resistência química e ao impacto.

O acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) resulta da co-polimerização do estireno com o butadieno e o acrilonitrilo. Apresenta um elevado brilho e uma elevada rigidez, resistência ao impacto e processibilidade.

Aditivos

Os aditivos são materiais que são adicionados de forma a alterar as propriedades de um material, promovendo o seu processamento, propriedades químicas, físicas e elétricas do material final.

Nos plásticos estes têm a função de conferir propriedades específicas de forma a promover o seu desempenho. Os aditivos usados com maior frequência na indústria transformadora são os Anti-UV, antioxidantes, deslizantes, plastificantes, estabilizantes, lubrificantes ou cargas e retardadores de chama, estes podem ser sólidos, líquidos, orgânicos e inorgânicos. (Murphy, 2001)

3.1.2. Operações de composição

O termo composição é definido no dicionário como um processo de combinação de diferentes componentes de forma a formarem um novo material com novas e diferentes propriedades. A nível industrial é definido como a otimização de vários ingredientes de forma a dar origem a um produto final com propriedades definidas. (Todd)

No processo de composição é incorporado na matriz polimérica um ou mais aditivos com o objetivo de alterar ou melhorar as propriedades do material final, tais como resistência térmica, resistência ao impacto, características de desempenho, dureza, propriedades anti-estáticas e resistência aos raios ultravioletas. O processo desenvolve-se em três etapas: formulação, mistura e extrusão.

A formulação consiste na seleção da base mais adequada do polímero base, corantes e aditivos de acordo com a aplicação final e consequentemente das propriedades e características do polímero onde será utilizado o masterbatch. Esta é a etapa mais importante para o sucesso do produto, uma vez que irá permitir que seja obtido o produto final com as características pretendidas.

A mistura é responsável por garantir a distribuição do material sem afetar os componentes individuais adicionados.

Por último a extrusão permite fundir, dispersar, homogeneizar e transformar os fios do masterbatch. Este é um processo mecânico contínuo, em que o material é forçado através de uma matriz a adquirir uma forma pré-definida pela matriz desenvolvida para a peça pretendida. (Wildi, 1998)

3.2. Descrição do processo de fabrico

Neste capítulo é feita a descrição do processo de fabrico, caracterização do produto e correções em curso. O processo de fabrico de masterbatches não é contínuo, isto é, a produção é feita por lotes. A produção por lotes permite produzir um determinado produto, numa determinada quantidade num período reduzido. Este tipo de produção permite um controlo da qualidade mais eficiente, evitando a produção de produto não conforme e consequentemente um aumento de custos. Com a possibilidade de produzir uma grande variedade de produtos, este tipo de processo permite aumentar a oferta de produtos e consequentemente satisfazer mais clientes.

No processo de fabrico são identificadas e caracterizadas todas as fases que o constituem. Na caracterização do produto identificam-se os vários aspetos a considerar no controlo da qualidade e nas correções em curso identifica-se todo o processo, vantagens e desvantagens da sua realização.

3.2.1. Processo de fabrico

O processo de fabrico de masterbatches é constituído por diversas etapas, esquematizadas no fluxograma apresentado na figura 3.1.

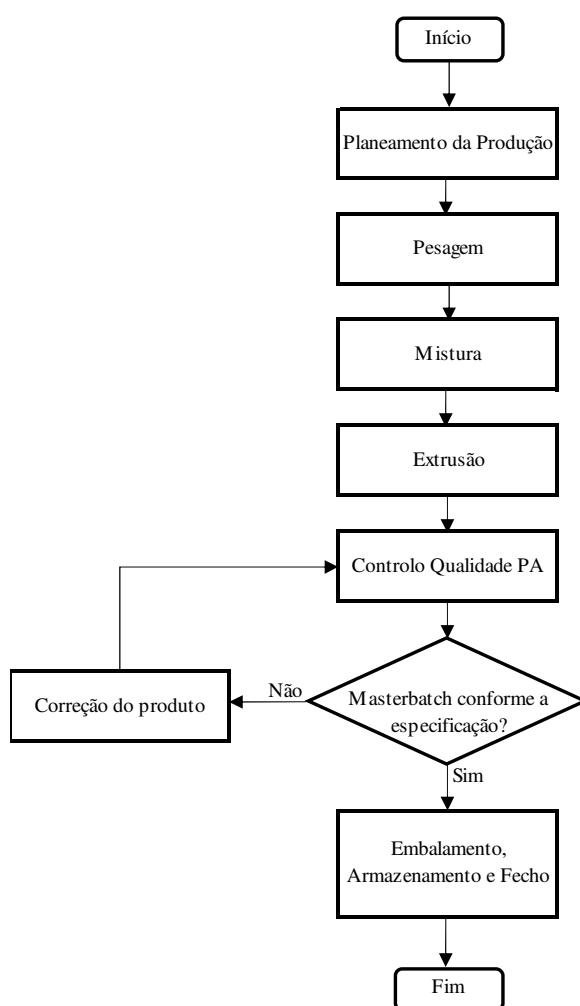


Figura 3.1- Fluxograma do processo produtivo de masterbatches.

a. Planeamento da produção

Esta etapa inclui várias atividades/tarefas. Inicialmente é analisada a fórmula do produto indicado na encomenda do cliente e é calculado o preço de custo. Posteriormente é criada uma ordem de fabrico, são impressas as folhas de formulação, o produto é colocado no mapa de produção e é feito o planeamento. O planeamento é definido com base nos seguintes critérios: Data pedida pelo cliente; Cor do produto;

Quantidade a fabricar; Resina base do produto. De modo a minimizar o tempo de limpeza entre produtos, evita-se misturar cores e resinas base nas mesmas linhas de produção. A quantidade e o tipo de resina base dos produtos a fabricar condicionam a escolha do tipo e capacidade da misturadora e da linha de extrusão a utilizar. Após concluído o planeamento do produto, é indicada uma data prevista de fabrico.

b. **Pesagem**

Nesta etapa são pesadas as quantidades que difiram da quantidade das embalagens, de todos os componentes da formulação a adicionar em cada mistura. Por exemplo, se um pigmento está disponível em sacos de 20 kg e tem de ser adicionado na etapa seguinte de mistura na quantidade de 27.5 kg, na etapa de pesagem terá de ser pesada a quantidade de 7.5 kg.

Os componentes pesados são encaminhados para a etapa de mistura, devidamente identificados com a referência do produto e com as instruções adicionais necessárias (etiqueta de pesagem). Estas instruções incluem a quantidade de componentes a adicionar em sacos inteiros em cada mistura, e a identificação dos equipamentos a ser utilizados.

c. **Mistura**

Os produtos indicados na etiqueta de pesagens são colocados dentro da misturadora e é iniciado o processo de mistura. Nesta etapa, através da rotação das pás do equipamento (Figura 3.2), consegue-se a dispersão dos vários componentes, nomeadamente pigmentos, e a fusão de ajudantes de dispersão, o que garante uma mistura final com uma distribuição homogénea dos componentes, e sem pó solto.

Após o processo de mistura estar concluído, verifica-se se não apresenta não conformidades visíveis. Coloca-se a etiqueta de mistura no reservatório que contém a mistura preparada, para que possa seguir para a etapa seguinte de extrusão.



Figura 3.2- Misturadora.

d. Extrusão

Inicialmente verifica-se na etiqueta de mistura quais as características do produto a ser extrudido. De acordo com o tipo de resina base do produto, selecionam-se as temperaturas e limpa-se a linha de extrusão, extrudando polímero virgem até que o material extrudido saia limpo.

De seguida extrude-se o material proveniente da mistura. O material fundido, após sair da extrusora sob a forma de fio, é arrefecido num banho de água para que o material solidifique, e encaminhado para um granulador para ser cortado e adquirir a forma de grânulo (Figura 3.3). Verifica-se se o fio apresenta boa aparência, sem indicação de má dispersão, e se os grânulos têm tamanho homogêneo. Quando o processo se apresenta estável, solicita-se o controlo da qualidade. Um operador retira uma amostra dos grânulos, para que seja sujeita aos ensaios do controlo da qualidade estabelecidos para o produto em causa.

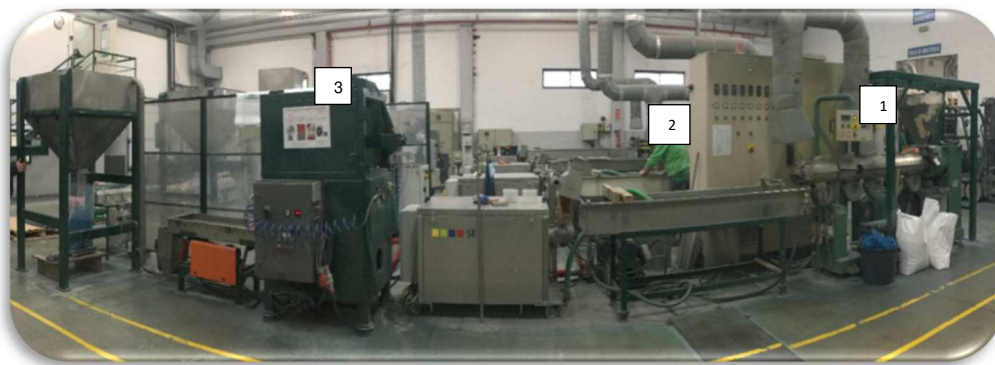


Figura 3.3- Linha de extrusão com extrusora (1), banho de arrefecimento (2) e granuladora (3).

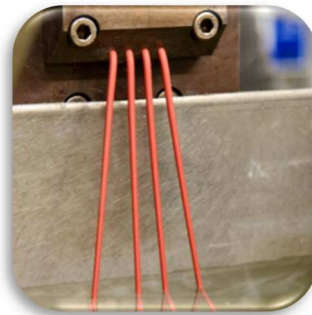


Figura 3.4- Material após ser extrudido.



Figura 3.5- Grânulo após sair do granulador.

Através da figura 3.4 é possível observar a forma com que o material sai da fieira. Uma fieira é um elemento que molda o polímero fundido de forma a obter-se a secção transversal pretendida. A figura 3.5 representa a forma que o material adquire após sair do granulador. O material apresentado em ambas as figuras é apenas um exemplo de uma cor produzida.

e. **Controlo da qualidade do produto**

A amostra recolhida é caracterizada conforme o descrito no ponto 3.2.

Caso exista uma não conformidade, preenche-se um relatório de não conformidade. Quando é realizada uma correção ao produto não conforme, preenche-se a folha de correção e envia-se para as pesagens. Este envio é feito para que sejam pesados os componentes necessários para corrigir o produto, uma vez que a correção é inicialmente realizada no laboratório.

No final da produção e de já ter sido efetuado o controlo da qualidade é colocada uma etiqueta no saco do material produzido com a indicação “conforme”/ “não conforme”. Para os lotes conformes é emitida uma declaração de conformidade ou um certificado de análise.

f. **Embalagem, Armazenamento e Fecho**

Na etapa de embalagem, o produto é embalado em sacos de 25 kg e etiquetado (Figura 3.6). A etiqueta contém informação sobre a referência do material, peso, número do lote e a data de produção.



Figura 3.6- Produto acabado em sacos de 25kg.

Depois de embalado, o produto é transportado e armazenado no armazém.

Na última etapa do processo de fabrico, introduz-se no sistema ERP a quantidade das matérias-primas que foram consumidas e do produto fabricado, de modo que sejam atualizados os stocks e dá-se entrada da referência com o respetivo lote.

3.3. Caracterização dos produtos

O controlo da qualidade do produto é feito assim que o produto é extrudido, ou seja, durante a produção é retirada uma amostra do material e é feito o respetivo controlo. Ao produto final é sempre feito o controlo ao nível da cor e tamanho do grânulo. Todos os outros ensaios que possam ser feitos, têm de ser definidos previamente pelo cliente.

De forma mais pormenorizada são descritos de seguida os passos realizados no controlo da qualidade do produto acabado, de que forma é realizado o controlo visual em placa e de que forma a diferença de cor afeta a aceitação do produto.

Controlo da qualidade do produto

A esquematização do fluxograma do processo de controlo de qualidade está apresentada na figura 3.7.

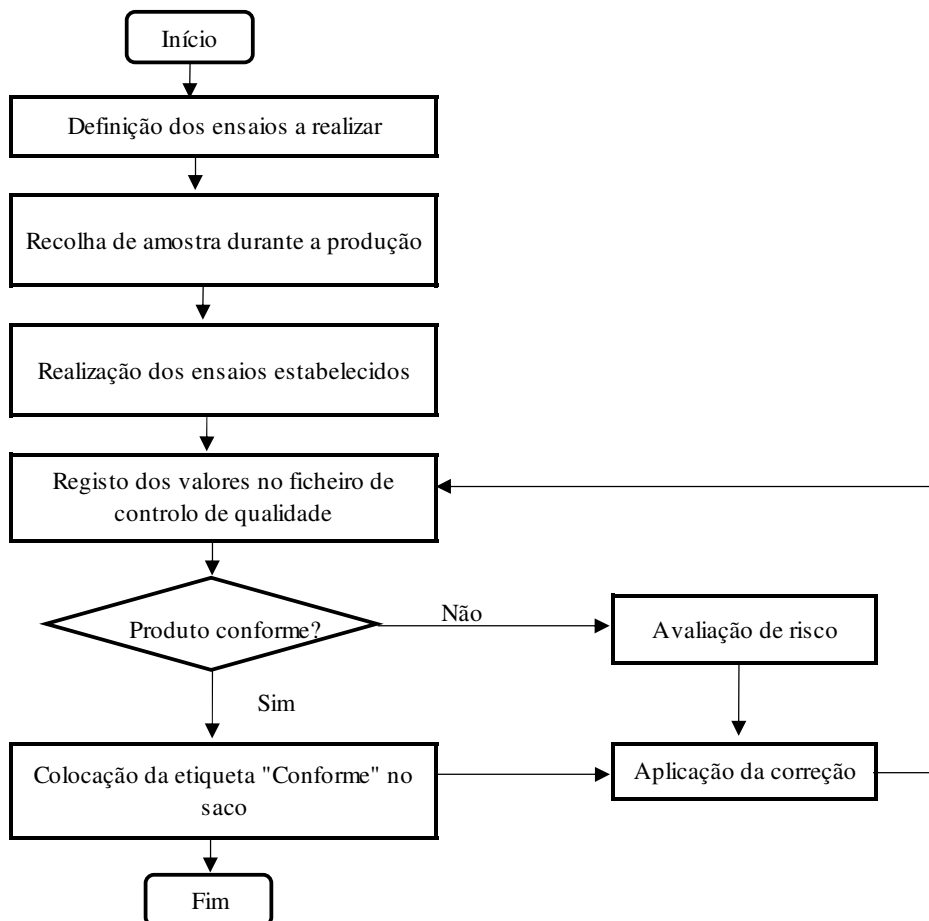


Figura 3.7- Fluxograma do processo de controlo da qualidade.

Muito antes do processo de controlo da qualidade ser aplicado, é necessário definir o tipo de ensaios que vão ser realizados, os quais são determinados pelos requisitos do cliente final.

O processo de controlo da qualidade é iniciado com a recolha de uma amostra da produção em curso. A periodicidade de recolha da amostra depende do tamanho do lote e do tempo de produção. Para um lote com apenas uma mistura e tempo de produção inferior a 2 horas, apenas é retirada uma amostra por lote.

Após recolha da amostra, realizam-se os ensaios estabelecidos para o produto - cor, densidade, teor de humidade, tamanho do grânulo, ou outros. Independentemente da realização de outros ensaios, a todos os MB de cor são realizados os ensaios de avaliação da cor, visualmente e através de medição com o espectrofotómetro Colormetrix Datacolor 600 (Figura 3.8).

Para avaliação no espectrofotómetro é preparada uma amostra com uma % do MB produzido, aplicado no plástico de aplicação especificado. A mistura destes dois materiais é utilizada para produzir placas por moldação por injeção (Figura 3.9) ou filme por extrusão de filme tubular, conforme a aplicação do cliente final.

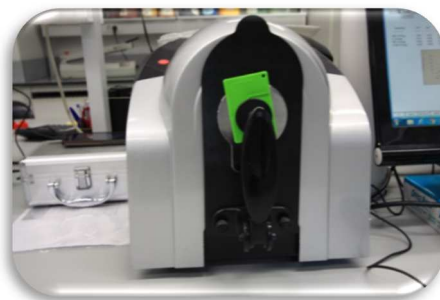


Figura 3.8- Espectrofotómetro Colormetrix Datacolor 600.



Figura 3.9- Placas de vários produtos injetadas para controlo de qualidade.

Os valores obtidos através dos ensaios realizados são registados num ficheiro dedicado e criado para o controlo de cada produto. Para produtos que estão conformes é colocada uma etiqueta num dos sacos e é guardada uma amostra.

Quando são detetados valores fora das tolerâncias estabelecidas é feita uma análise de risco pelo responsável do controlo da qualidade, para determinar a necessidade de se proceder a correção. Em caso afirmativo, é registada a não conformidade, e aplicada a correção necessária.

Controlo visual em placa ou filme

O controlo visual é aplicado às amostras coloridas em placa ou filme obtidas com os produtos fabricados. Esta forma de controlo permite, através da comparação entre a amostra e o padrão, observar numa fase inicial se existem diferenças de cor visíveis a olho nu entre eles. Para esta análise é utilizada uma câmara de luz Macbeth Judgell (Figura 3.10).

Tal como referido anteriormente a cor pode assumir diferentes tonalidade para diferentes condições e fontes de iluminação. A câmara de luz permite simular várias condições de iluminação a atuar numa amostra, avaliando de forma mais rigorosa a cor da mesma. A identificação correta e rigorosa da real cor da placa injetada com o material produzido, permite garantir que o material produzido corresponde sempre ao solicitado pelo cliente. Considera-se que o produto está conforme quando não se verificam diferenças entre a amostra e o padrão.



Figura 3.10- Câmara de luz.

Diferenças de cor CIE L* a* b*

A cor resulta da interação entre um objeto que é observado por um ser humano, a luz que o ilumina e as características que o observador apresenta. A tonalidade que um determinado objeto apresenta pode variar consoante a luz que incide sobre ele e consoante o observador (figura 4.11). (Berns, 2000) Apresenta vantagens ao nível da identificação e sinalização de objetos, na capacidade de memorização e visualização.

A cor é o parâmetro mais importante na produção de um MB, uma vez que influencia a aparência e o custo do produto final onde é aplicado. O sistema mais utilizado na medição de cores é o CIE L*a*b* que está representado sob a forma tridimensional e dividido entre os diferentes eixos, L*, a* e b* com base no grau de claridade/ escuridão e na intensidade da cor (Figura 3.11 e Tabela 3.1). (Ly et al., 2020)

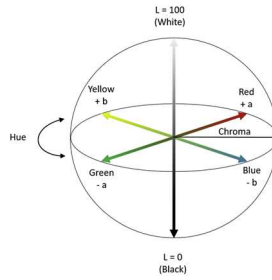


Figura 3.11- CIE L*a*b* (Bino, 2020)

Tabela 3.1- Correspondência entre os eixos e as cores.

Eixo dos x_s	b^*	$+b$	Amarelo
		$-b$	Azul
Eixo dos y_s	a^*	$+a$	Vermelho
		$-a$	Verde
Eixo dos z_s	L^*	$+L$	Preto
		$-L$	Branco

A avaliação de cor é feita através da avaliação dos Δ (diferença) das coordenadas da amostra relativamente a um padrão, ΔL , Δa e Δb e pela diferença total de cor, ΔE .

$$\Delta L = L_{amostra} - L_{padrão} \quad (3.1)$$

ΔL corresponde à diferença do valor entre claro e escuro, + é mais claro e - é mais escuro;

$$\Delta a = a_{amostra} - a_{padrão} \quad (3.2)$$

Δa é a diferença entre o eixo vermelho/ verde, + é mais vermelho e - mais verde;

$$\Delta b = b_{amostra} - b_{padrão} \quad (3.3)$$

Δb é a diferença entre o eixo amarelo/ azul, + mais amarelo e - mais azul;

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3.4)$$

ΔE avalia o valor total da diferença de cor.

De forma a garantir que a tonalidade do objeto é o pretendido e que cumpre com os critérios definidos pelo cliente, é necessário definir quais são os critérios de aceitação e de rejeição com base nos valores do padrão

desenvolvido e aprovado. As coordenadas de cor são obtidas através de um espectrofotômetro, este aparelho faz a medição e comparação entre os valores das coordenadas obtidas para o padrão e para a amostra para que posteriormente seja possível fazer um ajuste na cor caso o resultado não seja o pretendido.

A seleção do concentrado com a tonalidade e cor mais adequada para o cliente depende de alguns fatores, utilização final da peça, polímero utilizado, temperatura de processamento e o intervalo de tolerância de aceitação admitida pelo cliente. (Charvat, 2004)

O ΔE é utilizada para validação no controle da qualidade. A menos que outro critério seja acordado com o cliente, é estabelecido que o ΔE nunca deve ser superior a 1. Quando ΔE é superior a 1, é necessário efetuar um controle visual e analisar se a diferença observada é aceitável.

3.4. Correções em curso de produção

Quando um produto que está a ser produzido apresenta não conformidades é necessário efetuar uma correção. A amostra em grânulo retirada da produção é analisada de forma a estabelecer a correção a efetuar.

Uma paragem na produção devido a uma correção implica a paragem da máquina e consequentemente um desperdício de tempo. Durante o tempo de correção e consequentemente de paragem da máquina, não existe produção de outro produto, o que produz atrasos significativos na produção.

Além dos custos com as paragens de produção, também existem os custos de materiais e humanos, ou seja, sempre que exista uma correção é necessário utilizar matéria-prima para corrigir bem como um operador para fazer esse mesmo processo.

Para espelhar o efeito da correção foi construído o gráfico (obtido a partir do software Statistica) apresentado na figura 3.12.

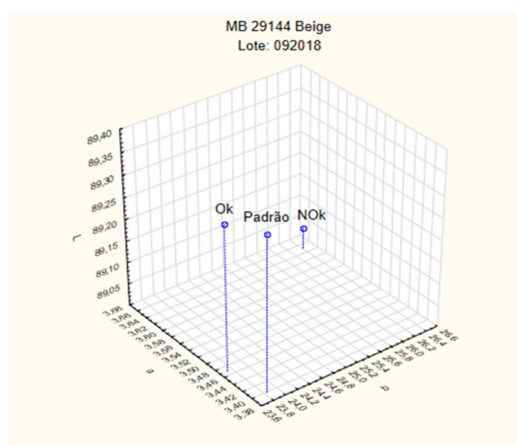


Figura 3.12- Efeito da correção em curso de produção no valor das coordenadas de cor $L^*a^*b^*$, para um lote não conforme do produto MB 29144 Beige.

Através da figura 3.12 observa-se o quanto é importante a correção de cor no produto. Escolheu-se ao acaso um produto produzido, retirou-se os valores de L^* , a^* e b^* do padrão, de um lote não conforme (NOK) e do lote NOK após ser corrigido. O padrão apresenta os seguintes valores de $L^* = 89,35$; $a^* = 3,40$; $b^* = 23,85$. Verifica-se que o lote não conforme apresentava um valor de $L^* = 89,05$ mais baixo que o padrão, isto é, com um $\Delta L = -0,3$ o lote está mais escuro. Os parâmetros $a^*=3,65$ e $b^*=26,41$ apresentam valores mais altos que o do padrão, $\Delta a = 0,25$ e $\Delta b = 2,56$, indicam que o lote não conforme está mais vermelho e mais amarelo. Após ser corrigido é possível observar que os valores estão mais próximos ao do padrão, $L^* = 89,33$; $a^* = 3,47$ e $b^* = 23,72$. No processo de produção de masterbatches existe sempre a possibilidade de recuperar um lote não conforme, esta recuperação é feita através da etapa de correção. Verifica-se que é uma mais-valia no combate ao desperdício, uma vez que o produto é recuperado.

De forma a garantir que o cliente recebe sempre a cor pretendida, é necessário que os valores estejam sempre compreendidos no intervalo de aceitação estabelecido. Existem clientes que definem o intervalo de aceitação do produto. Para os casos em que o cliente não define uma especificação, consideramos como critério de aceitação que o $\Delta E > 1$. Caso se verifique que ΔE não cumpre o critério definido para aceitação, efetua-se uma análise de risco (controlo visual) e avalia-se a tendência das coordenadas de lotes produzidos anteriormente.

4. Parte experimental

A parte experimental do presente trabalho envolveu a recolha e análise de dados, os quais foram utilizados com dois objetivos.

A primeira análise a efetuar passa por identificar as causas que levam a um aparecimento mais frequente de não conformidades, que leva conseqüentemente a um aumento de correções em produção. A não conformidade mais frequente é o desvio à cor estabelecida para o produto, e a sua correção leva a perdas de eficiência do processo de fabrico.

Numa outra análise, pretendeu-se verificar de que modo os desvios de cor, objetos de correção em curso de produção, se devem a causas anormais de variação do processo ou se as variações na cor se devem à variabilidade normal do processo de fabrico.

4.1. Recolha de dados

Para as análises efetuadas foram utilizados dados existentes nos registos da empresa, nomeadamente registo de medições de cor efetuados no controlo da qualidade dos lotes produzidos. Foram igualmente avaliadas as correções realizadas aos lotes não conformes, através de auditorias realizadas ao processo. Na identificação e análise de falhas foram utilizados os dados recolhidos entre 2013 e 2014 e posteriormente dados de 2020. A informação contida nestas análises contempla o tipo de equipamentos utilizados, cor dos produtos feitos anteriormente, a eventual alteração da origem de alguma matéria-prima ou até o facto de o produto estar a ser produzido pela primeira vez.

A recolha dos dados para a análise de uma correção de cor foi efetuada através de auditorias ao processo, a qual é constituída por diversas etapas. Inicialmente é necessário ir à zona de pesagens de forma a verificar se houve algum erro durante a pesagens ou mesmo uma contaminação com outros produtos. De seguida verifica-se qual o produto que foi anteriormente misturado na zona de misturas e se o mesmo teve algum impacto no produto seguinte não conforme, devido por exemplo a uma limpeza incompleta. Após serem verificadas as zonas de pesagens e de misturas, verifica-se a zona de extrusão de forma a perceber igualmente qual o impacto do produto extrudido anteriormente. Existem inúmeros fatores que podem afetar a cor do produto produzido. Esta análise deve ser feita assim que a não conformidade em laboratório é detetada e o processo deve ser igualmente acompanhado.

Foram realizados dois tipos de análise expressas nos pontos 4.2 e 4.3. Numa primeira análise (ponto 4.2) foram utilizados os dados referentes a auditorias realizadas ao processo na altura em que as não conformidades em laboratório foram identificadas. Nos anos de 2013 e 2014 utilizaram-se os dados já existentes na empresa e efetuados por outro colaborador. Os dados de 2020 foram retirados e analisados no âmbito deste trabalho.

É importante referir que as não conformidades detetadas nesta primeira análise correspondem a muitos produtos diferentes, isto é, produtos com formulações diferentes (diferem na constituição e percentagem

dos componentes utilizados). Estes valores resultam de todas as não conformidades detetadas nos respetivos anos.

Para a realização das cartas de controlo efetuadas na segunda análise (ponto 4.3), foram escolhidos 4 produtos do portfólio da empresa. As variações e as suas causas mais prováveis foram determinadas à posteriori, com base na formulação de cada produto, natureza dos componentes utilizados, valores das coordenadas, quantidade produzida, extrusora e misturadora utilizada.

4.2. Tratamento de dados. Ferramentas da qualidade utilizadas

Com o objetivo de identificar as causas mais prováveis de ocorrer no processo produtivo (identificadas no imediato), utilizaram-se diversas ferramentas da qualidade, das quais brainstorming, diagrama de Ishikawa, fluxograma, histograma, gráfico de Pareto, diagrama de dispersão e cartas de controlo.

4.2.1. Identificação das causas

As causas possíveis para o desvio de cor dos produtos foram identificadas através de um brainstorming e apresentadas sob a forma do diagrama de Causa-efeito.

4.2.2. Determinação das causas mais prováveis

A determinação das causas mais prováveis foi feita a partir dos dados recolhidos nas auditorias de acompanhamento das correções, que incluem as causas identificadas para cada um dos lotes corrigidos.

Foi utilizado o gráfico de Pareto para determinar as causas mais prováveis a atuarem no processo produtivo de masterbatch.

4.2.3. Avaliação da variabilidade do processo de fabrico

Para efetuar a avaliação estatística dos dados recolhidos, foram escolhidos quatro produtos com um número elevado de lotes produzidos e com alguns lotes corrigidos, correção em curso de fabrico.

Os dados foram analisados de modo a avaliar a normalidade do processo, para tal foram utilizados os métodos do Histograma, gráfico de probabilidade da distribuição normal e o método Kolmogorov-Smirnov. A normalidade dos dados é um fator importante, para a construção das cartas e determinação dos limites de controlo.

Foram utilizadas as cartas de Shewart de observações individuais (X) e amplitudes móveis (MR) porque permitem a monitorização das médias dos dados do processo nos casos em que as amostras não são adequadas.

As cartas de controlo permitiram avaliar a existência de causas anormais de variação a atuar sobre o processo produtivo.

A variabilidade do processo produtivo e a sua capacidade para cumprir especificações ou critérios de aceitação foram determinados considerando o processo sob controlo estatístico (capacidade do processo).

4.3. Apresentação e discussão dos resultados

Neste ponto são apresentados os resultados do estudo realizado na empresa Poliversal – Plásticos e Tecnologia S.A.

4.3.1. Identificação de causas

Considerando as várias etapas do processo de fabrico -pesagem, mistura e extrusão, foram identificadas as principais fontes de variação ou de erro que podem estar na origem de uma não conformidade relacionada com a diferença de cor no masterbatch produzido.

Juntamente com a equipa da qualidade realizou-se um brainstorming como forma de identificar as diversas causas associadas ao aparecimento de causas de variação ao processo, que influenciam os desvios de cor.

Foram identificadas as seguintes causas:

- Erro na pesagem dos componentes;
- Resíduo de componentes que fica nos equipamentos;
- Contaminação do produto durante o procedimento;
- Alteração origem do componente;
- Erro na referência dos componentes;
- Propriedades do componente diferente do anterior;
- Contaminação do produto na pesagem;
- Substituição do componente por semelhante;
- Recolha/ identificação do produto errado;
- Erro do procedimento;
- Erro de método;
- Erro de fórmula;
- Erro nos parâmetros de extrusão;
- Falta de limpeza misturadora/ extrusora;
- Erro nos parâmetros de mistura (tempo e velocidade);
- Erro nos parâmetros de extrusão (temperatura).

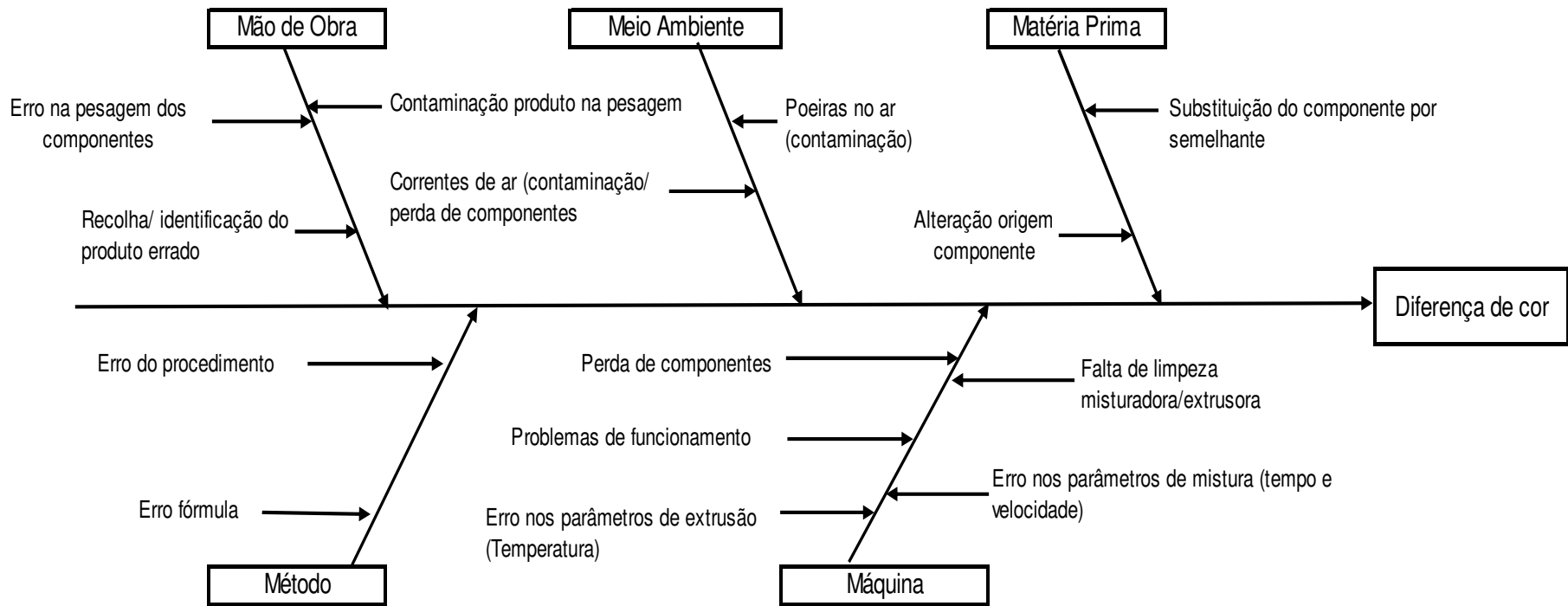


Figura 4.1- Diagrama de Ishikawa para o processo produtivo.

Através do diagrama de Ishikawa representado na figura 4.1, é possível esquematizar as causas que potenciam um determinado problema assim como os efeitos que as mesmas têm sobre o produto. A principal vantagem deste método é o facto de permitir a visualização do efeito e dos respetivos fatores que contribuem para a sua ocorrência.

As causas podem ser causas de variação, que não se conseguem evitar, ou causas de erros, que resultam de erros ocorridos durante o processo e que devem ser evitados/corrigidos. Na tabela 4.1 apresentam-se os dois tipos de causas.

Tabela 4.1-Causas de variação e causas de erro identificadas

Causas de erro	Causas de variação
Erro na pesagem dos componentes	Resíduo de componentes que fica nos equipamentos
Contaminação do produto durante o procedimento	Alteração origem do componente
Erro na referência dos componentes	Substituição do componente por semelhante
Recolha/ identificação do produto errado	Tamanho do lote
Procedimento/método mal estabelecido	
Erro na transposição da fórmula (laboratório – produção)	
Erro nos parâmetros de extrusão	
Limpeza inadequada de misturadora/ extrusora	
Erro nos parâmetros de mistura (tempo e velocidade)	
Funcionamento erróneo dos equipamentos	

Foram identificadas causas ao nível da mão de obra, meio ambiente, matéria-prima, método e máquina.

Ao nível da mão de obra destacamos por exemplo erro na referência dos componentes, isto é, quando existe a produção de um produto, a primeira fase do processo é a pesagem dos componentes. Os componentes e respetivas quantidades necessárias estão indicadas na formulação do produto, com esta informação o operador sabe o que deve preparar para o respetivo produto. Eventualmente o operador pode pesar o componente com a referência errada sem se aperceber.

Na categoria meio ambiente podemos destacar a contaminação do produto durante o procedimento de produção, uma vez que, após ser pesado, vai para uma zona de trânsito. Nesta zona de trânsito pode ocorrer uma contaminação proveniente do ambiente, assim como passagem de componentes de outras pesagens que se encontram em espera na mesma zona.

Ao nível da matéria-prima temos o caso de alteração da origem da matéria-prima, isto é, muitas vezes o mesmo componente pode ter mais do que um produtor. Apesar de todas as matérias-primas serem controladas pelo controlo da qualidade a fim de validar se estão dentro dos parâmetros, podem ocorrer pequenas oscilações nos valores obtidos.

No método, temos por exemplo o caso de procedimento inadequado. O erro do procedimento pode ocorrer pela inexistência de uma etapa adicional que se determina necessária (arrefecimento por exemplo), ou pela definição de operações não adequadas (extrusão mono fuso vs duplo fuso por exemplo).

Por último temos o problema ao nível da máquina, por exemplo os erros nos parâmetros de produção. É necessário definir para cada produto os parâmetros de mistura e de extrusão, estes são essenciais para que os produtos sejam produzidos em conformidade.

Das causas identificadas no diagrama de Ishikawa, foram avaliadas as seguintes quanto à frequência com que conduziram a não conformidades: erro na pesagem dos componentes, perda de componentes, falta de limpeza misturadora/ extrusora e substituição do componente por semelhante. É muito importante para a empresa identificar as causas responsáveis pelas não conformidades existentes.

4.3.2. Determinação das causas mais prováveis

As causas consideradas como relevantes e que atuam neste processo produtivo são as que podem conduzir a alteração na cor dos produtos. Esta alteração de cor é observada através da alteração dos valores dos parâmetros de L^* , a^* e b^* quando comparados com o padrão.

Foram analisados os registos das não conformidades detetadas nas auditorias dos anos de 2013 (111 não conformidades detetadas), 2014 (39 não conformidades detetadas) e 2020 (112 não conformidades detetadas). Os dados referentes a 2013 e 2014 foram retirados do histórico de análises da empresa, enquanto em 2020 os dados foram analisados no âmbito deste trabalho. Esta análise foi feita com recurso ao diagrama de Pareto que permite visualizar as causas que ocorrem com maior frequência de forma a priorizar a resolução destes problemas. Foram identificadas as seguintes causas: mudança de matéria-prima, 1ª produção, perda de componentes, contaminação e causa não identificada.

Apresentam-se os resultados de todos os produtos corrigidos e também apenas daqueles que registaram $\Delta E > 1$. Deste modo excluem-se aqueles que, embora dentro do intervalo de aceitação utilizado por defeito, foram corrigidos porque os critérios de aceitação dos clientes eram mais apertados.

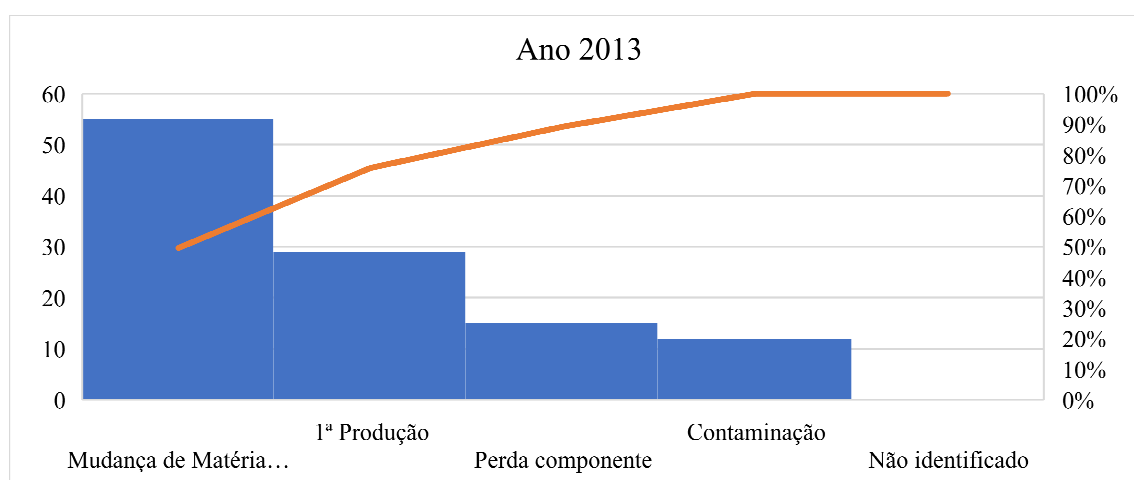


Figura 4.2- Diagrama de Pareto para o ano de 2013

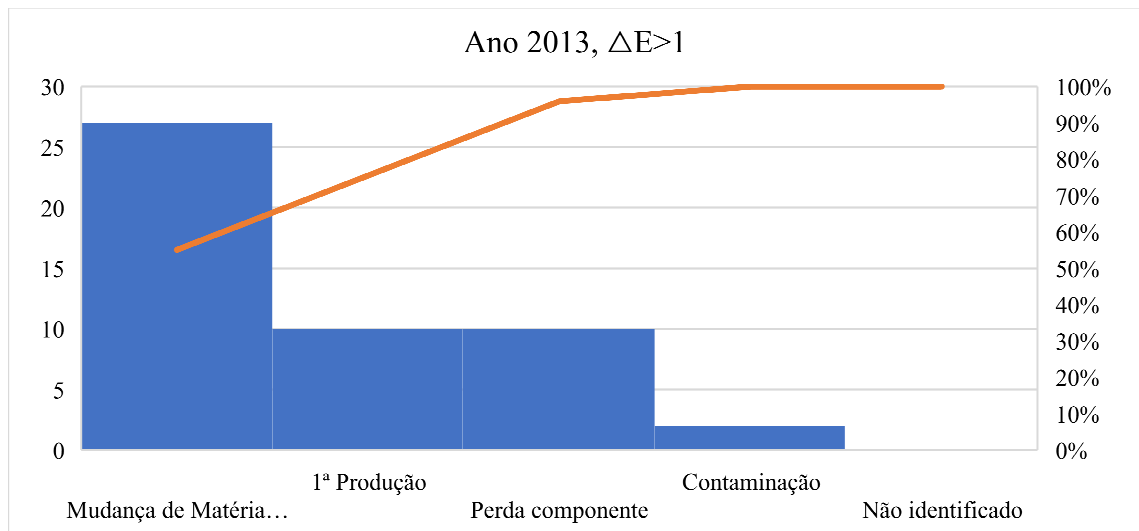


Figura 4.3- Diagrama de Pareto para o ano de 2013 com um $\Delta E > 1$.

A figura 4.2 indica que no ano de 2013 a causa que aconteceu com mais frequência foi a mudança de matéria-prima. Esta mudança pode estar relacionada com alteração de fornecedores/origem dos componentes, devido à escassez que se registou nesta altura de crise. Verifica-se na figura 4.3 que para $\Delta E > 1$, os dados seguem a mesma tendência que na anterior, ou seja, a causa mais frequente de ocorrer é a mudança de matéria-prima, seguido da 1ª produção. A menos provável em ambos foi a contaminação.

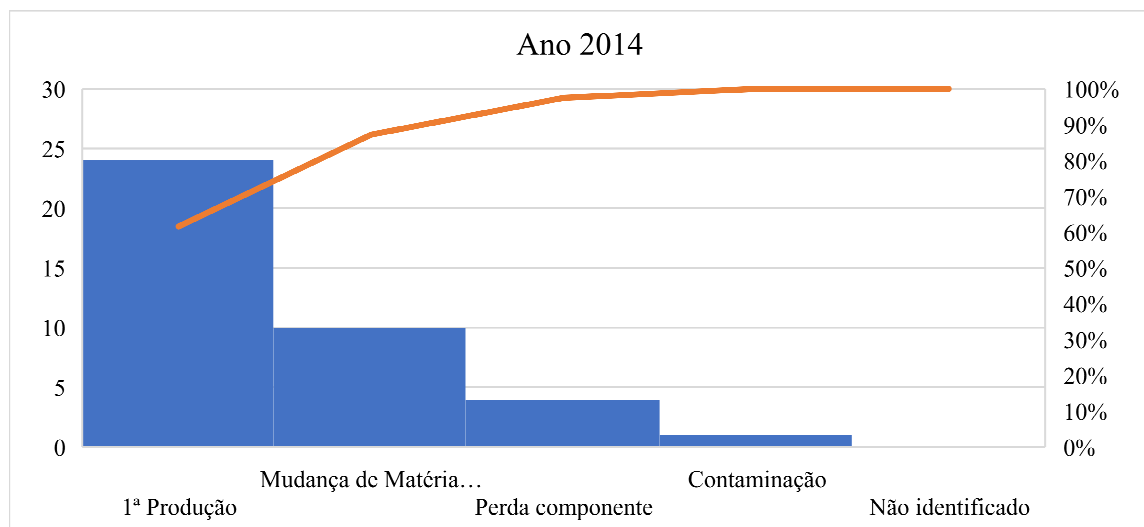


Figura 4.4- Diagrama de Pareto para o ano de 2014.

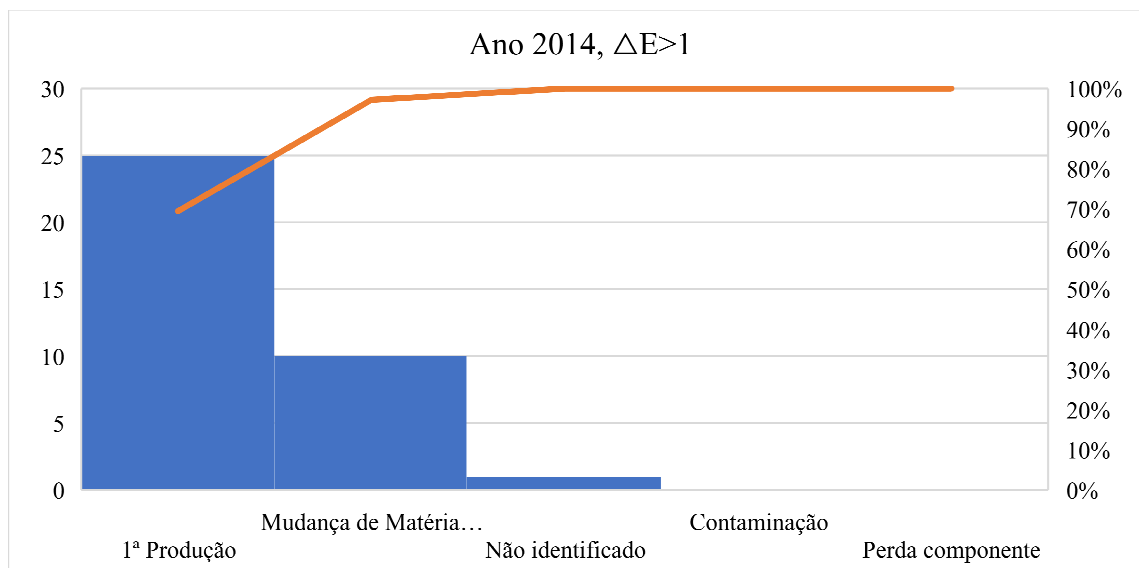


Figura 4.5- Diagrama de Pareto para o ano de 2014 com um $\Delta E > 1$.

Em 2014 é possível observar, a partir da figura 4.4, que a causa mais recorrente foi a 1ª produção, seguido da mudança de matéria-prima. A 1ª produção é considerada uma causa para alteração de cor, uma vez que o produto é inicialmente desenvolvido em laboratório sob determinadas condições e quantidades. Ao passar para uma produção em maior escala, o seu comportamento pode ser diferente e alterado. Este elevado número de causas relacionadas com a 1ª produção indica que durante esse ano existiu um grande número de novos produtos aprovados. A figura 4.5, que representa as causas para um valor de $\Delta E > 1$, apresenta dados semelhantes, embora neste caso a causa que aparece com menor frequência seja a perda de componentes.

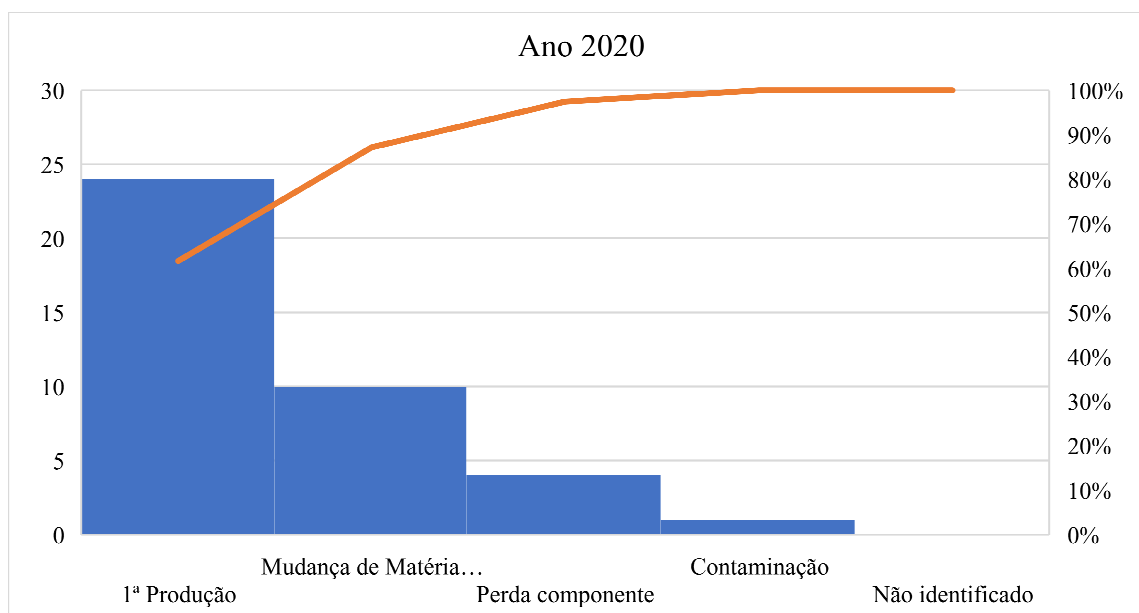


Figura 4.6- Diagrama de Pareto para o ano de 2020.

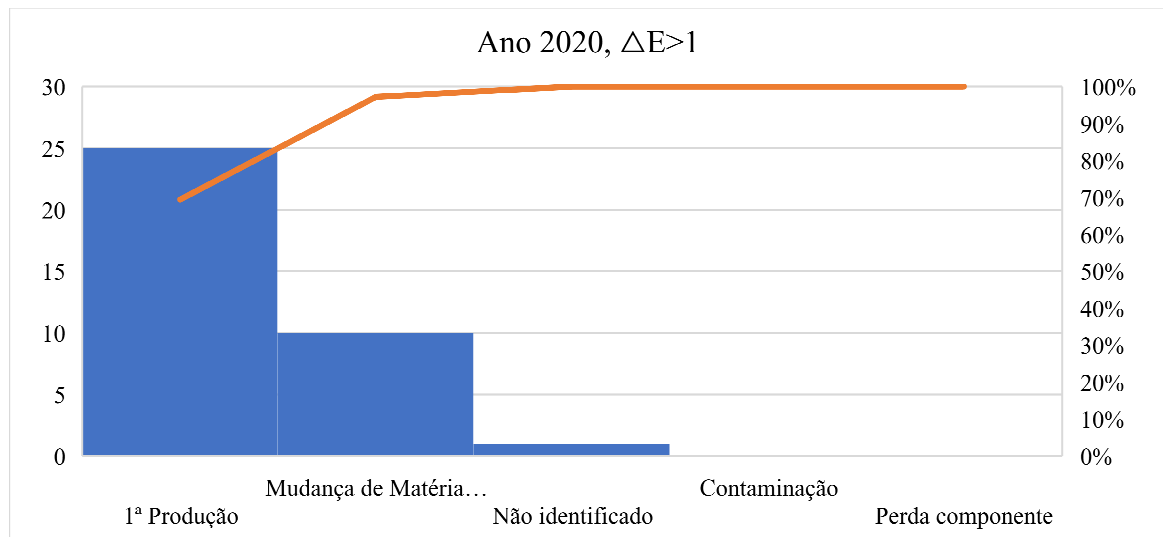


Figura 4.7- Diagrama de Pareto para o ano de 2020 com um $\Delta E > 1$.

Por último a figura 4.6, que representa o estudo efetuado no ano de 2020, tem como causa mais provável de ocorrer a perda de componentes. Esta perda de componentes está relacionada com o facto de em inúmeras formulações a quantidade de alguns componentes ser muito baixa. Estas quantidades baixas proporcionam a eventual perda durante o processo de mistura, onde pode existir produto agarrado às paredes da misturadora. A figura 4.7 representa as causas mais prováveis de acontecer quando o $\Delta E > 1$, verificando-se que existe alteração na ordem de causas entre a figura 4.6 e 4.7.

É possível observar que as duas causas mais frequentes detetadas nos anos de 2013 e 2014 diminuíram em relação ao ano de 2020, esta mudança revela que no primeiro caso a dificuldade com as matérias-primas alterou-se. Esta alteração pode estar provavelmente relacionada com a escolha de fornecedores com maior capacidade de resposta, isto é, fornecedores que consigam entregar o material e quantidade necessária nas datas solicitadas. O não cumprimento das datas solicitada e não existência de alternativas de distribuição, pode levar a uma rotura de material e consequentemente a não produção de um determinado material. É muito importante contar com fornecedores que em situações normais de funcionamento consiga satisfazer adequadamente as necessidades pedidas. No caso da 1ª produção também se deve ao facto de existir menos produção de novos produtos e mais de produtos já existentes.

É possível concluir após análise dos gráficos obtidos que a causa de não conformidade que aumentou foi a perda de componentes, esta perda deve-se ao facto de serem produzidos muitos produtos com um % de pigmento muito baixa.

4.3.3. Avaliação da variabilidade do processo de fabrico

Com a avaliação da variabilidade inerente ao processo de fabrico dos MB pretendeu-se verificar se as variações identificadas nos produtos corrigidos, assim como as causas apontadas, se devem a erros (causas anormais) ou se são inerentes ao processo de fabrico.

Abaixo listam-se algumas causas de variação inerentes ao processo de fabrico.

- Equipamentos com características diferentes (13 misturadores com capacidades diferentes, que vai desde 75 a 600 litros, 11 linhas de extrusão que diferem na configuração (mono fuso vs duplo fuso) e no tamanho ou capacidade;
- Tamanho dos lotes, desde 25 kg a várias toneladas;

Como exemplo podemos dizer que a quantidade de pigmento que fica retido nos equipamentos varia quer com o tamanho do equipamento utilizado quer com o tamanho do lote produzido

- Operadores. Em algumas operações, como por exemplo a mistura, o operador tem influência no modo como os resíduos de pigmento são aproveitados, o que afeta a reprodutibilidade dessas operações

A avaliação da variabilidade do processo de fabrico foi realizada para 3 produtos. Para cada produto estudou-se a capacidade do processo e o seu comportamento, nomeadamente a evidência de existência de causas anormais de variação a atuar no processo.

O presente estudo envolveu a análise das três coordenadas do sistema de cor CIE L*, a* e b*. Os produtos analisados são concentrados de cor em base polimérica. Alguns dados relacionados com os produtos são apresentados na tabela 4.2. No anexo AI apresentam-se dados mais detalhados sobre a composição e os diferentes lotes analisados de cada produto.

Estas características podem ter influência no comportamento do processo, ou seja, na variação da cor. A cor de cada produto pode ser vista nas figuras 4.8 a 4.10.



Figura 4.8- Produto A.



Figura 4.9- Produto B.



Figura 4.10- Produto C.

Tabela 4.2- Caracterização dos produtos seleccionados para estudo.

Produto	Cor	Número de lotes produzidos	Base	Número de pigmentos utilizados na formulação	Aplicação produto final
A	Beige	53	ABS	5	Orla mobiliário
B	Azul	62	PS-HI	3	Moldura aquário
C	Castanho	33	SAN	3	Orla mobiliário

Foram selecionados os produtos que apresentavam um número elevado de correções face ao número de vezes que foram produzidos. Optou-se por escolher dentro desses parâmetros produtos que tivessem cor, polímeros base e número de pigmentos diferentes de forma a tornar a análise mais ampla e diversificada.

A variabilidade do processo de fabrico foi avaliada através da construção de cartas de valores individuais e amplitude móvel uma vez que no controlo da qualidade dos vários lotes só se retira uma amostra para análise da cor.

As cartas permitiram identificar causas anormais de variação a atuar sobre o processo e determinar a variabilidade natural do processo, ou capacidade do processo. O estudo foi efetuado para as três coordenadas de cor, L^* , a^* e b^* .

Recorreu-se ao software Statistica e ao excel para a elaboração das cartas e para a determinação dos parâmetros de controlo.

▪ **Produto A**

O produto A é um concentrado de pigmentos envolvidos numa matriz polimérica, ou resina base. A resina base do produto, ABS, é caracterizada por ter uma elevada rigidez, resistência ao impacto e brilho.

Na formulação deste produto existem 5 pigmentos diferentes, dos quais 3 entram em percentagens muito baixas (abaixo de 1%), o que pode levar a que a sua perda influencie muito a cor do produto.



Figura 4.11- Placa 1 conforme para o produto A.

$$L^* = 73,00$$

$$a^* = 3,56$$

$$b^* = 12,54$$



Figura 4.12- Placa 2 não conforme para o produto A.

$$L^* = 73,58$$

$$a^* = 3,57$$

$$b^* = 12,79$$

$$\Delta L = 73,58 - 73,00 = 0,58$$

$$\Delta a = 3,57 - 3,56 = 0,1$$

$$\Delta b = 12,79 - 12,54 = 0,25$$

Na figura 4.11 e 4.12 estão representadas duas placas correspondentes à injeção dos lotes identificados como 1 e 2, a 5% em ABS. De seguida é determinada a diferença de cor entre as placas dos lotes e o padrão, assim como a diferença de cor entre as duas placas.

Verifica-se que existe uma diferença na tonalidade entre a placa 1 e a placa 2. Obtiveram-se valores de $\Delta L = 0,58$ indica que a placa 2 está mais clara que a 1, $\Delta a = 0,1$ indica que a placa está mais vermelha e $\Delta b = 0,25$ está mais amarela. A placa 1 corresponde ao lote conforme e a placa 2 ao produto não conforme.

Análise da variabilidade

A característica L^* é responsável por indicar se o produto está mais escuro ou mais claro quando comparado a um padrão (Coordenadas de cor previamente aprovadas pelo cliente). A característica a^* indica se o produto está mais verde ou mais vermelho e a característica b^* se mais azul ou amarelo.

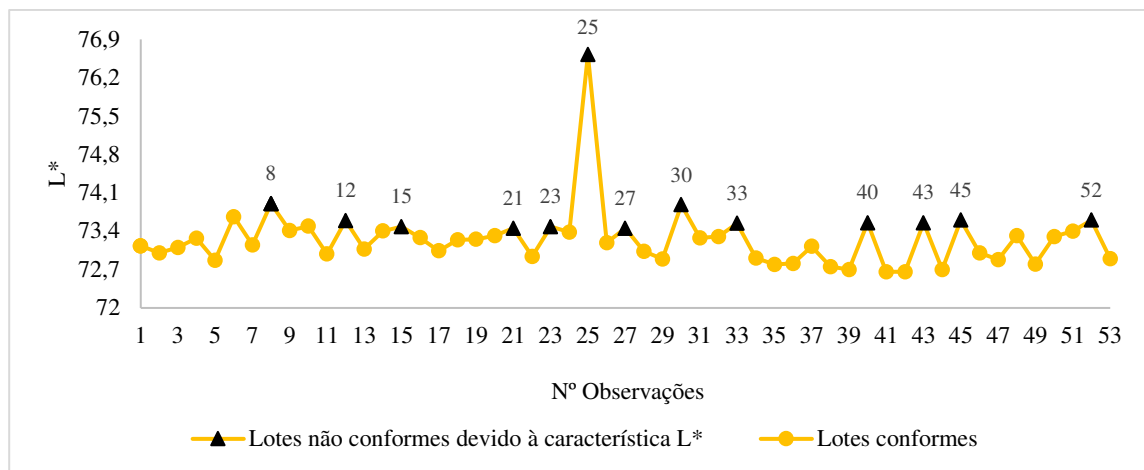


Figura 4.13- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica L^* .

Na figura 4.13, estão representados os valores da variável L^* obtidos nas medições de cor efetuadas no controlo da qualidade dos vários lotes fabricados. Os valores assinalados com triângulo referem-se a lotes que foram considerados não conformes. A preto assinalam-se os lotes corrigidos devido à característica L^* . Embora muitos dos lotes tenham sido corrigidos, verifica-se que aparentemente esta característica não apresenta uma grande variabilidade na gama de valores obtidos, existindo apenas um lote com um valor substancialmente superior aos restantes.

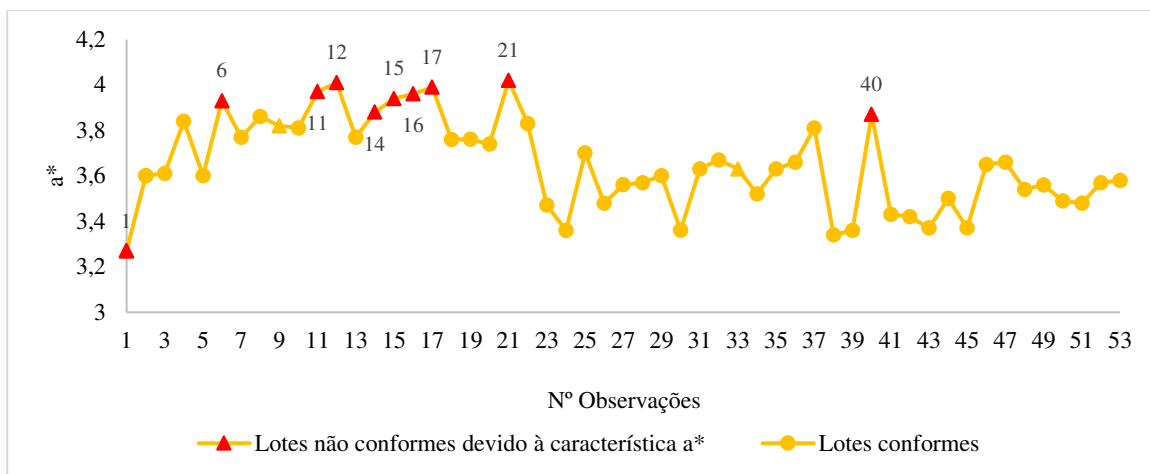


Figura 4.14- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica a*.

Na figura 4.14 estão representados os valores da variável a, igualmente obtidos nas medições de cor efetuadas no controlo da qualidade. A vermelho estão assinalados os lotes corrigidos devido a não conformidade no valor de a*. O padrão de variação é diferente do da variável L*, existindo a partir da observação nº21 uma inversão dos dados obtidos.

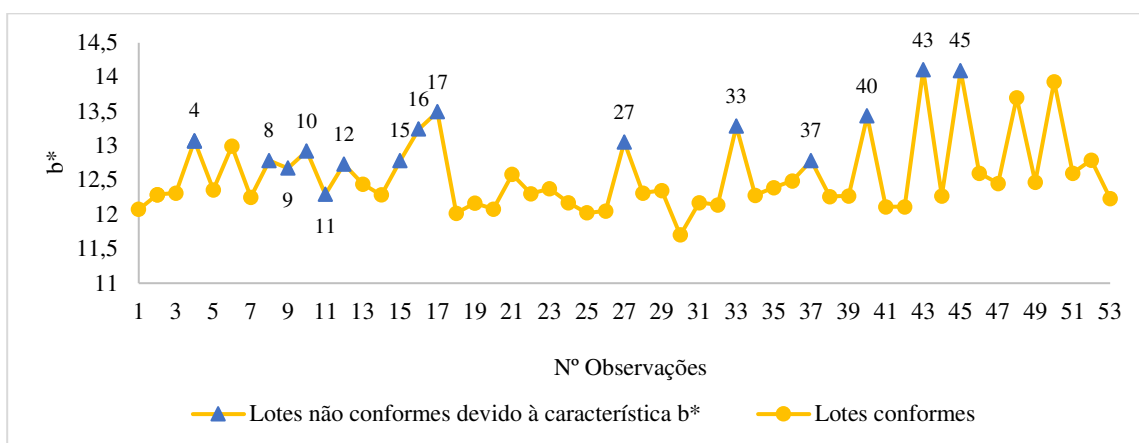


Figura 4.15- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica b*.

Na figura 4.15 representam-se os valores da variável b* obtidos pelas medições de cor realizadas. A azul estão assinalados os lotes corrigidos devido a não conformidade no valor de b*. Esta característica apresenta uma maior variabilidade na gama de valores obtidos a partir da observação nº 27.

As figuras 4.13, 4.14 e 4.15 ilustram que em 53 lotes, 26 foram corrigidos, o que dá 49% de lotes tecnicamente fora de controlo.

Relativamente a cada coordenada, 13 lotes foram corrigidos devido a desvios excessivos na coordenada L*, 10 lotes devido à coordenada a* e 18 lotes devido à coordenada b*. Em percentagem temos 25% dos lotes tecnicamente fora de controlo na coordenada L*, 19% na coordenada a* e 34% na coordenada b*.

As cartas de controlo permitem distinguir as causas normais das causas anormais a ocorrem no processo produtivo, desta forma torna-se uma mais-valia a sua aplicação.

Carta de observações individuais e amplitudes móveis

Como forma de verificar a estabilidade do processo e posteriormente a estimar os parâmetros do processo aplicou-se a 1ª fase do controlo estatístico do processo.

Com recurso ao excel e ao software Statistica, construíram-se as cartas de observações individuais (X) e de amplitudes móveis (MR), para as coordenadas de cor L*, a* e b*, de modo a identificar os pontos fora de controlo e determinar os parâmetros de controlo para um processo capaz. Utilizou-se ainda as regras de deteção de causas especiais definidas segundo a norma ISO 8258:1991.

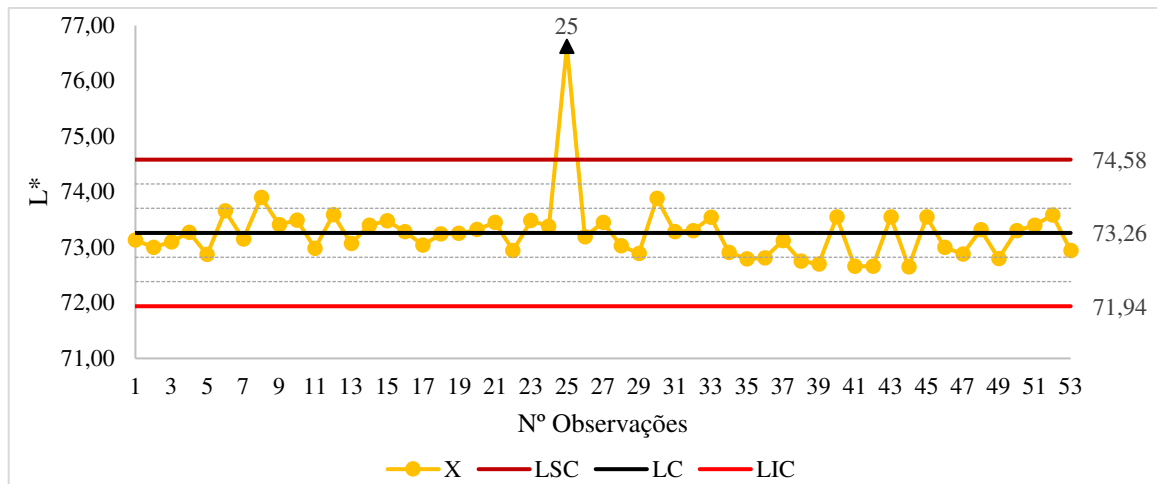


Figura 4.16- Carta X para o produto A, característica L* (53 pontos).

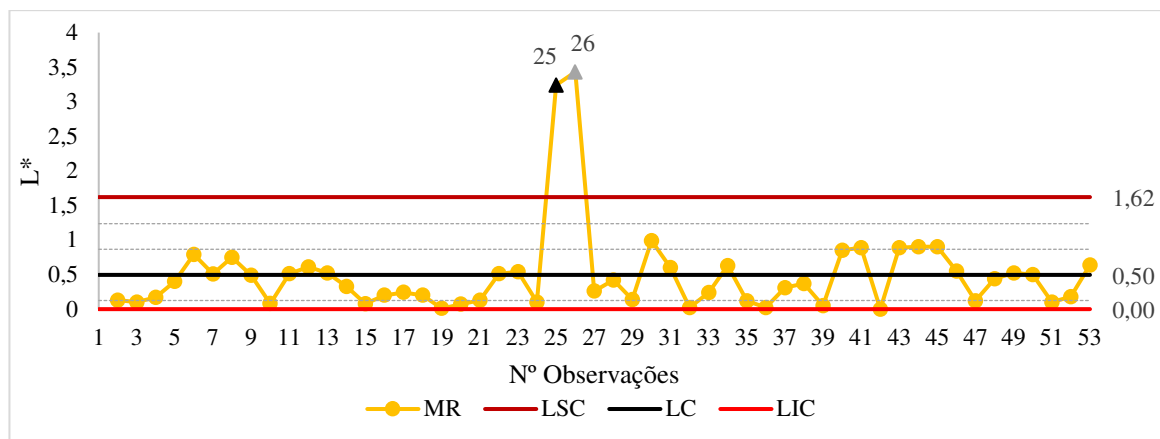


Figura 4.17- Carta MR para o produto A, característica L* (53 pontos).

A carta da figura 4.16, que representa a média da característica L^* , denota uma causa anormal a atuar no processo, observação n° 25, que corresponde a um lote com correção efetuada (tecnicamente fora de controlo). Este lote está simultaneamente estatisticamente e tecnicamente fora de controlo. Relativamente à tendência observada, verifica-se que este ponto está mais claro ($\Delta L^* = 3,62$) que todos os outros. Este produto contém na sua formulação uma pequena % de negro de fumo, o pigmento preto mais utilizado industrialmente. A perda deste componente originaria a obtenção de um produto mais claro.

A carta das amplitudes da coordenada L^* , figura 4.17, indica a presença de dois casos que denotam causas anormais a atuarem no processo, observações n° 25 e 26. Das duas observações detetadas apenas uma corresponde a um lote corrigido, a n° 25. Com base no estudo das cartas MR, verifica-se que estas utilizam os valores de X para fazer a diferença entre duas observações. Como na observação n° 26 é utilizado o valor da n° 25 que representa uma variação anormal, a diferença entre estas duas observações será elevada e por isso estará fora de controlo. Para uma avaliação correta da diferença deviam-se utilizar os valores das coordenadas de cor do lote 25 já depois de corrigido, que foi o que foi efetivamente enviado ao cliente. Neste trabalho utilizaram-se apenas os parâmetros de cor obtidos para os lotes sem correção para não introduzir mais causas anormais de variação, neste caso alterações à formulação. Após aplicação das regras de deteção para causas especiais de padrões não aleatórios presentes na normal ISO 8258:1991 verifica-se que os pontos fora de controlo correspondem à regra 1.

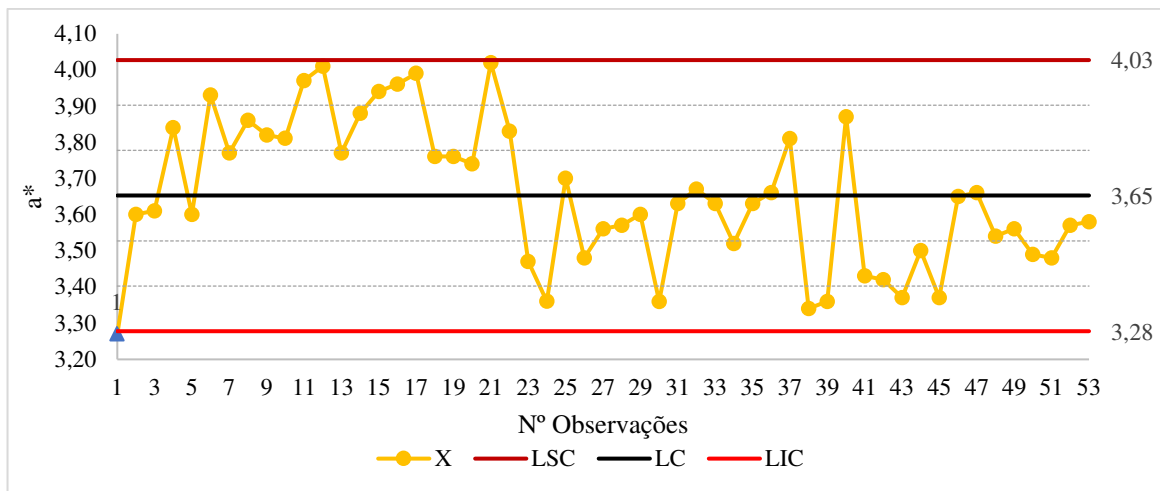


Figura 4.18- Carta X para o produto A, característica a* (53 pontos).

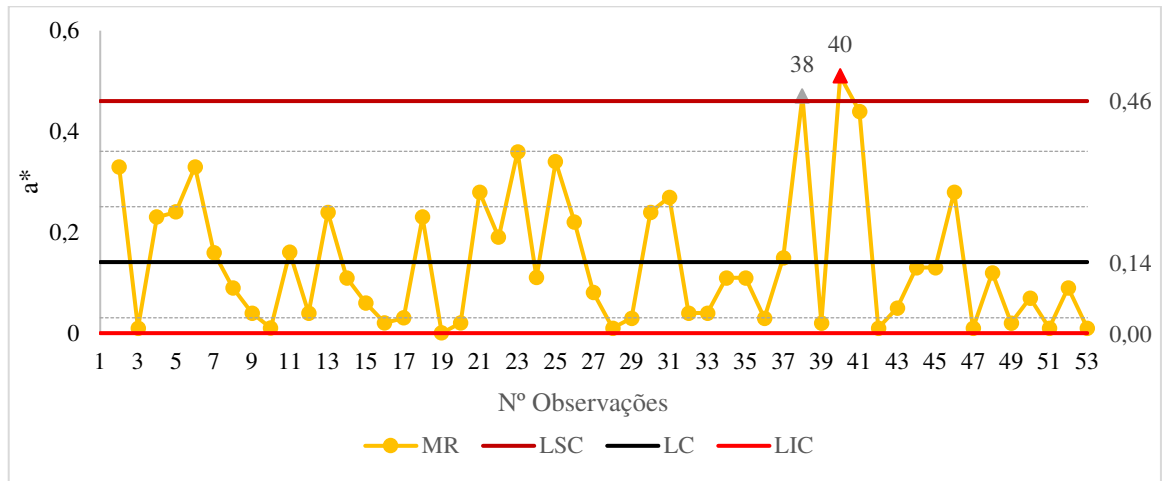


Figura 4.19- Carta MR para o produto A, característica a* (53 pontos).

A carta da figura 4.18, que diz respeito à média da característica a*, indica uma causa anormal a atuar na observação nº1. Esta observação representa igualmente um lote que está estatisticamente e tecnicamente fora de controle.

A carta das amplitudes da coordenada a*, figura 4.19, indica dois casos com causas anormais a atuar no processo, observação nº 38 e 40. A observação nº 38 não corresponde a um lote corrigido, mas como o seu valor depende da observação anterior, nº37 (lote corrigido), a diferença delas coloca este lote fora de controle. A observação nº 40 diz respeito a um lote corrigido, estando, em relação às restantes observações, mais vermelha ($\Delta a^* = 0,31$). Após análise a todo o histórico deste lote, verifica-se que o produto feito anteriormente continha uma grande % de pigmento vermelho. Neste caso uma deficiente limpeza do equipamento deverá ter originado a contaminação deste lote. Após aplicação das regras de deteção para causas especiais de padrões não aleatórios presentes na normal ISO 8258:1991 verifica-se que os pontos fora de controlo correspondem à regra 1.

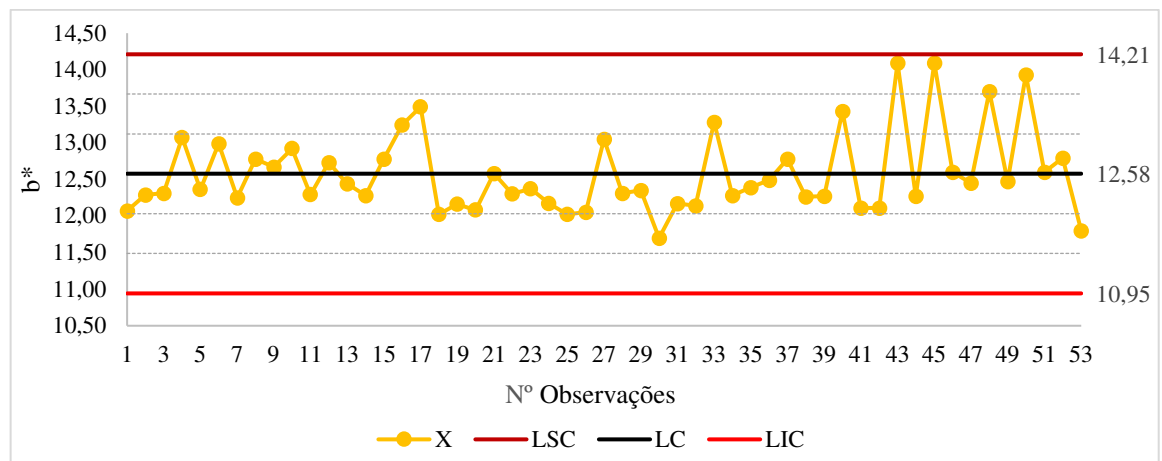


Figura 4.20- Carta X para o produto A, característica b* (53 pontos).

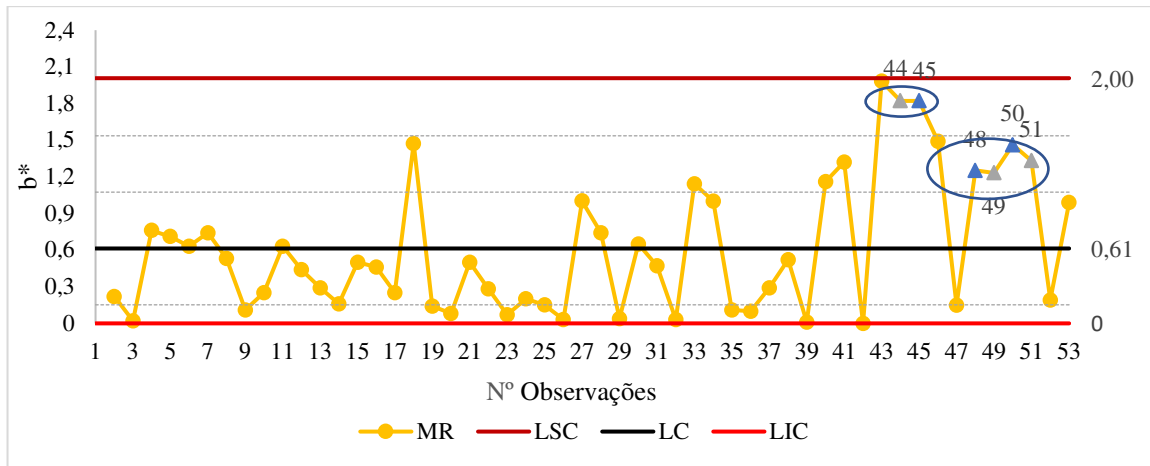


Figura 4.21- Carta MR para o produto A, característica b* (53 pontos).

A figura 4.20, carta das observações individuais para a característica b* não deteta causas anormais de variação a atuar no processo, o que se conclui que o processo está controlado.

A carta das amplitudes móveis, figura 4.21, deteta 6 causas especiais a atuarem no processo. Após aplicação das regras de detecção para causas especiais de padrões não aleatórios presentes na normal ISO 8258:1991 verifica-se que a existência de causas especiais de variação, observações 44, 45 (regra 5), 48, 49, 50 e 51 (regra 6). Nestes casos estamos na presença de causas especiais de variação uma vez que ocorrem com pouca frequência.

De modo a calcular os limites de controlo do processo sob controlo estatístico, eliminaram-se as observações correspondentes a causas anormais a atuar no processo, e construíram-se novas cartas de controlo com os respetivos limites. Os dados e as cartas efetuadas encontram-se apresentadas no anexo II (Figura II.1 a figura II.12).

As restantes 31 observações foram utilizadas para elaborar as cartas de controlo representadas nas figuras 4.22, 4.24 e 4.26 (cartas de valores individuais, \bar{X}) e nas figuras 4.23, 4.25 e 4.27 (cartas de controlo das amplitudes móveis, MR).

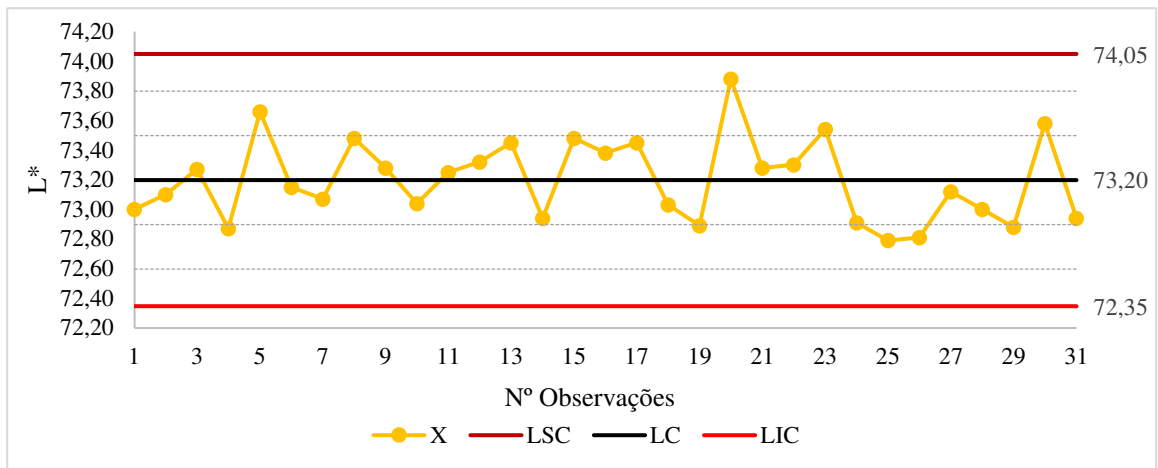


Figura 4.22- Carta X para o produto A, característica (31 pontos).

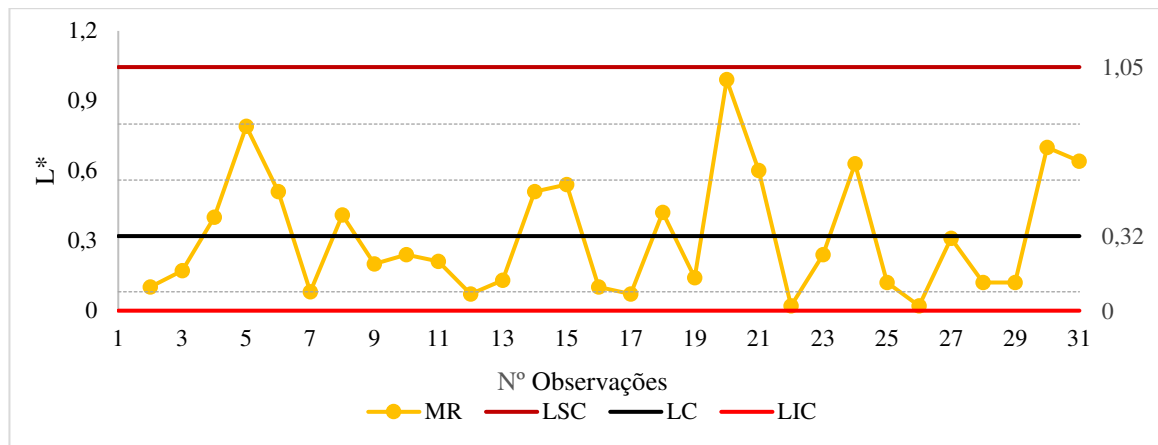


Figura 4.23- Carta MR para o produto A, característica L* (31 pontos).

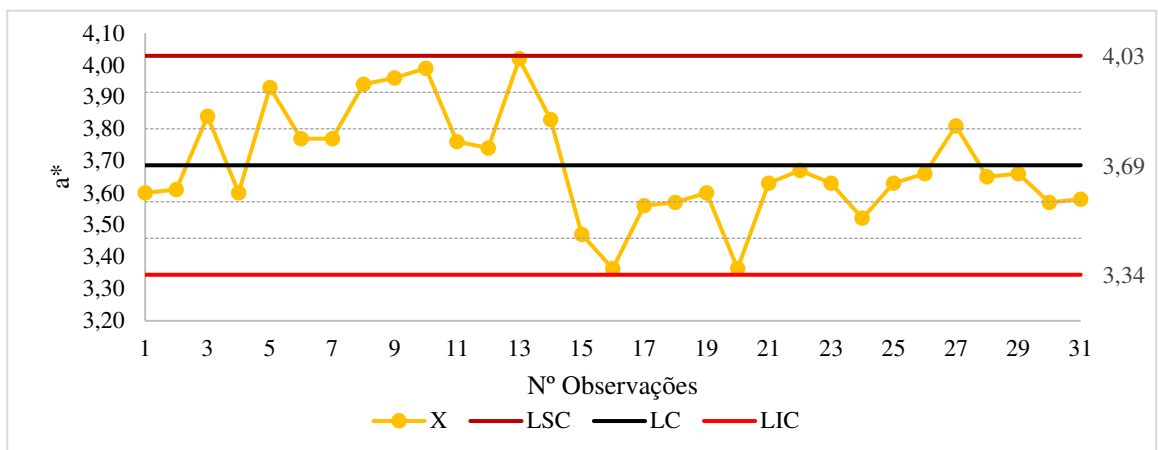


Figura 4.24- Carta X para o produto A, característica a*(31 pontos).

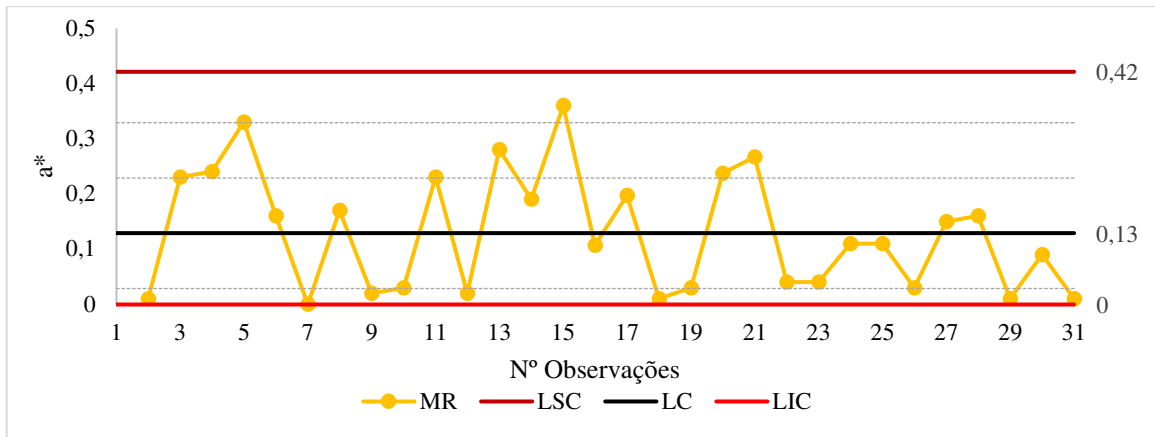


Figura 4.25- Carta MR para o produto A, característica a* (31 pontos).

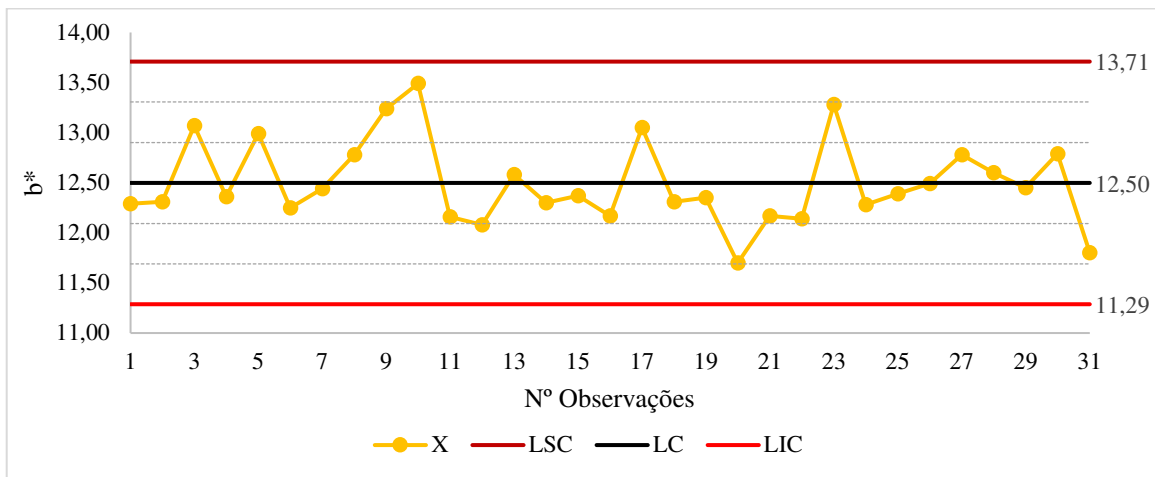


Figura 4.26- Carta X para o produto A, característica b* (31 pontos).

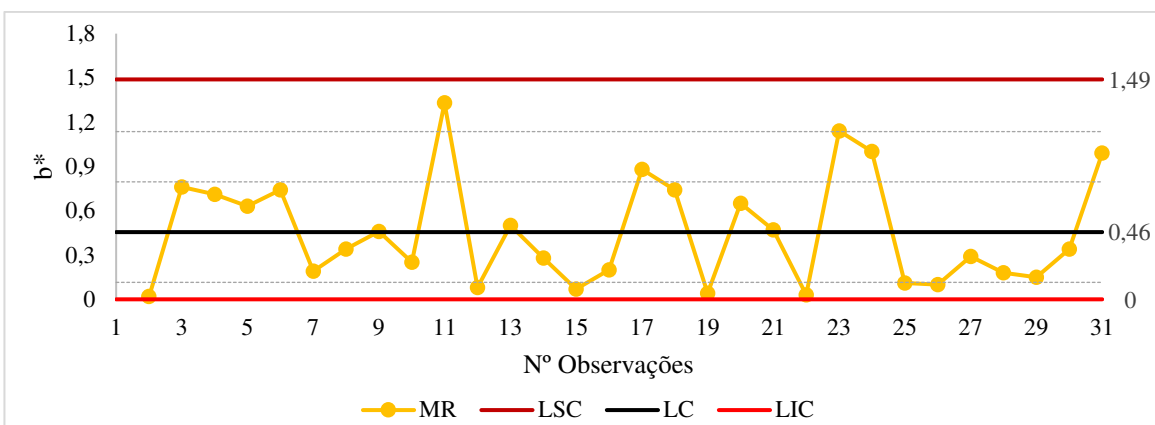


Figura 4.27- Carta MR para o produto A, característica b* (31 pontos).

Verificou-se a inexistência de pontos fora dos limites de controlo, o que permite concluir que o processo está controlado. Uma vez que o processo está controlado, retiraram-se os parâmetros, média e desvio padrão para posteriormente analisar a capacidade do processo.

Normalidade da distribuição dos dados

Com o processo sob controlo estatístico, isto é, sem pontos fora de controlo estatístico foi necessário verificar se os dados seguiam uma distribuição normal. Para isso utilizou-se o método gráfico de probabilidade da distribuição normal, que permite visualizar o comportamento dos dados em relação à reta, e o método Kolmogorov-Smirnov que permite validar a conclusão retirada a partir do gráfico.

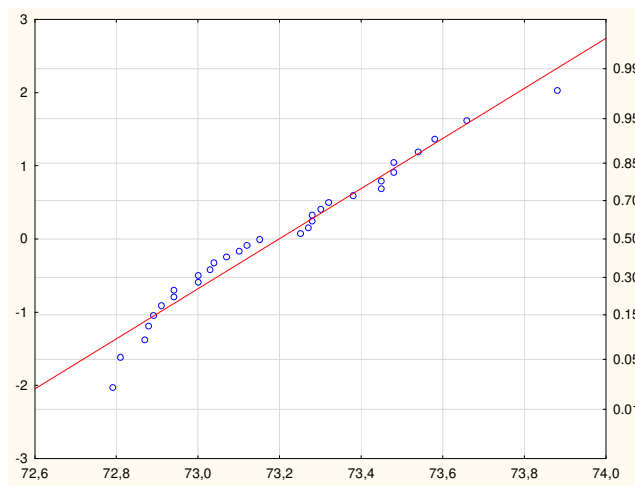


Figura 4.28- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica L*.

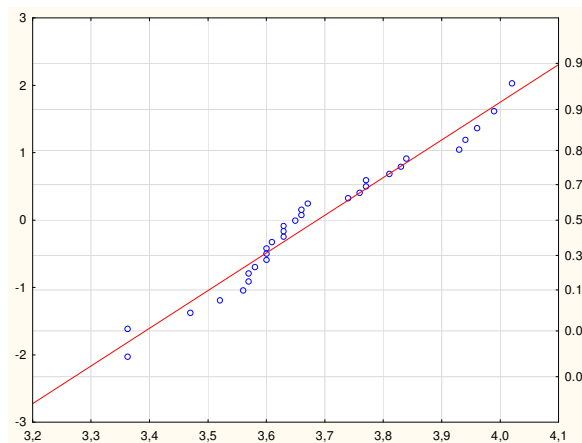


Figura 4.29- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica a*.

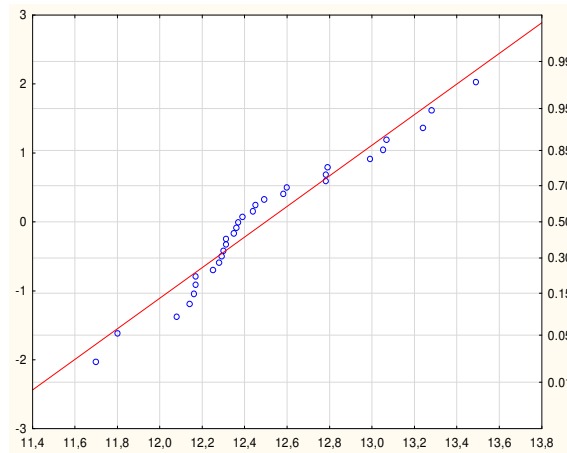


Figura 4.30- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto A, característica b*.

As figuras 4.28 a 4.30 correspondem a gráficos de probabilidade da distribuição normal para as características em estudo L^* , a^* e b^* . Verifica-se que os dados se dispõem à volta da reta, o que permite concluir que o pressuposto da Normalidade não é violado e que os dados seguem aproximadamente uma distribuição normal. De forma a validar esta conclusão, aplica-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (figuras 4.31 a 4.33). Para aplicação do teste foi necessário determinar os parâmetros D e $D_{crítico}$ de forma a verificar se a condição $D < D_{crítico}$ é verificada.

O $D_{crítico}$ é obtido através da tabela desenvolvida por H. W. Lilliefors (anexo III, figura III.2).

O valor de D é obtido através do teste de Kolmogorov-Smirnov para as características em estudo (Figuras 4.31 a 4.33).

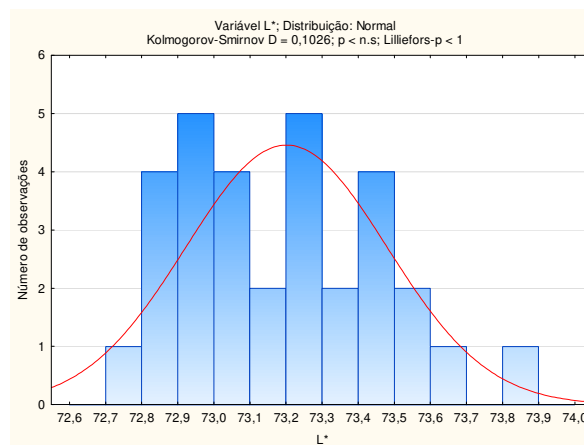


Figura 4.31- Histograma para o produto A, característica L^* .

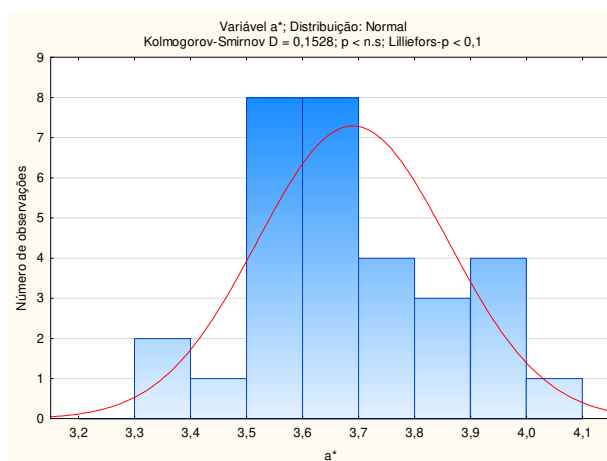


Figura 4.32- Histograma para o produto A, característica a*.

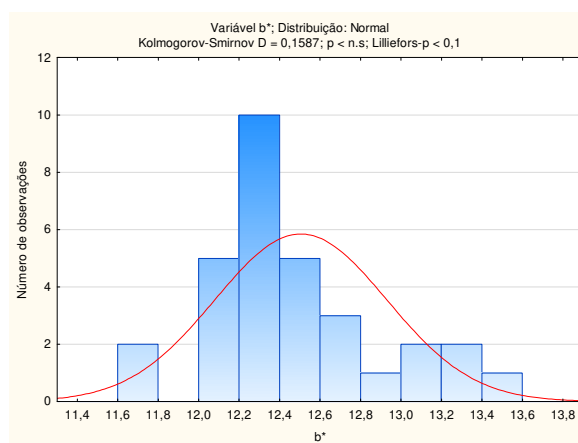


Figura 4.33- Histograma para o produto A, característica b*.

Tabela 4.3- Parâmetros obtidos para o teste de Kolmogorov-Smirnov para o produto A, características L*, a* e b*.

Característica	L*	a*	b*
<i>n</i>	31	31	31
<i>α</i>	5%	5%	5%
<i>D_{Crítico}</i>	0,1591	0,1591	0,1591
<i>D</i>	0,1026	0,1528	0,1587
Resultado	<i>D</i> < <i>D_{crítico}</i>	<i>D</i> < <i>D_{crítico}</i>	<i>D</i> < <i>D_{crítico}</i>

Com base na tabela 4.3 verifica-se que as características L*, a* e b* cumprem a condição $D < D_{crítico}$. Desta forma a conclusão retirada anteriormente é validada, isto é, os dados seguem uma distribuição normal para um nível de significância α de 5%.

Análise da capacidade do processo de fabrico

Uma vez que os dados a analisar seguem uma distribuição normal, a capacidade de o processo cumprir especificações foi analisada com base nos índices de capacidade.

A capacidade de o processo produtivo cumprir as especificações do cliente é também analisada qualitativamente através da representação gráfica, onde se compara os limites de controlo com as especificações do cliente.

Cálculo dos índices de capacidade do processo

Os dados obtidos para o cálculo dos C_{pk} foram determinados com base nos pontos que estão dentro de controlo estatístico e que refletem a capacidade de um processo ideal cumprir com os critérios e as especificações definidas para aceitação do lote. Considera-se que o processo está controlado e que apenas existem pontos dentro de controlo estatístico quando são eliminadas todas as causas de variação anormal detetadas anteriormente.

A partir das cartas sob controlo estatístico efetuadas, foram obtidos os parâmetros da média e do desvio padrão, indicados na tabela 4.4.

Tabela 4.4- Parâmetros obtidos a partir do processo controlado para o produto A.

Características	L*	a*	b*
Média	73,20	3,69	12,50
Desvio padrão	0,28	0,11	0,40

Os índices de capacidade foram determinados com recurso às fórmulas 22 a 24 e apresentam-se na tabela 4.5.

Tabela 4.5- Índices de capacidade do processo obtidos para as diferentes características em estudo, para o produto A.

Características	Cliente A			Cliente B		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
LSE estabelecido	73,4	3,86	12,64	73,70	4,26	13,24
LIE estabelecido	72,4	3,16	11,84	72,30	2,86	11,83
$(C_{pk})_S$	0,24	0,52	0,12	0,60	1,73	0,62
$(C_{pk})_I$	0,95	1,60	0,55	1,07	2,52	0,56
C_{pk}	0,24	0,52	0,12	0,60	1,73	0,56
Conclusão	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} > 1$	$C_{pk} < 1$

O índice de capacidade permite analisar de que forma o processo é tolerante com base nas variações que ocorram.

Segundo Oakland (2003) quando o $C_{pk} < 1$ indica que o processo não é capaz e que irá ser sempre produzido produto não conforme.

Cliente A: Ao nível das características L^* , a^* e b^* a falha será ao nível do $(C_{pk})_S$, ou seja, irá existir uma maior % de lotes não conformes acima da linha superior de controlo. Tendencialmente irá ser produzir uma grande quantidade de lotes mais claros, mais vermelhos e mais amarelos, sendo que o mais provável de ocorrer são os lotes mais amarelos (correções ao nível da característica b^*).

Cliente B: Ao nível das característica L^* a falha será ao nível do $(C_{pk})_S$, ou seja, irá existir uma maior % de lotes não conformes acima da linha superior de controlo. Tendencialmente irá ser produzir uma grande quantidade de lotes mais claros. Ao nível da característica b^* a falha será ao nível do $(C_{pk})_I$, ou seja, irá existir uma maior % de lotes não conformes abaixo da linha inferior de controlo. Tendencialmente irá ser produzir uma grande quantidade de lotes mais azuis.

A característica a^* apresenta um $C_{pk} > 1$, o processo conseguirá produzir produtos conformes segundo as especificações estabelecidas pelo cliente.

Verifica-se que o $(C_{pk})_S \neq (C_{pk})_I$, o que nos permite concluir que o processo não está centrado. Os valores de $(C_{pk})_S$ e $(C_{pk})_I$ são muito diferentes, torna-se importante centrar a média do processo. Esta centralização consegue-se provavelmente com uma alteração na formulação, isto é, alterar-se a quantidade de um dos componentes ou mesmo substituir por outro componente compatível.

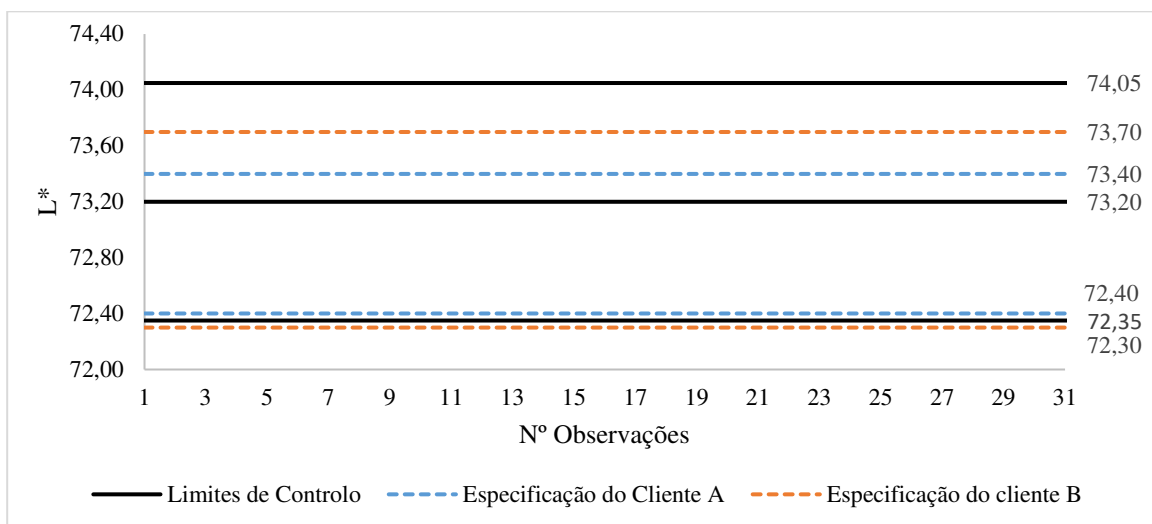


Figura 4.34- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente A e B para o produto A, característica L^* .

Através da figura 4.34 que representa a característica L^* , é possível observar que a especificação do cliente A é mais apertada que a variabilidade natural do processo, existirá sempre uma % de lotes mais claros e mais escuros que o padrão. Enquanto a especificação inferior do cliente é próxima do limite inferior de controlo do processo, a especificação superior é muito mais baixa que o limite superior de controlo. Neste caso a tendência do processo será a produção de lotes não conformes mais claro que o padrão. No caso do cliente B, verifica-se que o limite superior de especificação é mais apertado do que a variabilidade natural do processo, por outro lado verifica-se que o limite inferior de especificação do cliente é superior à variabilidade do processo. Tendencialmente o processo irá produzir lotes mais claros que o padrão.

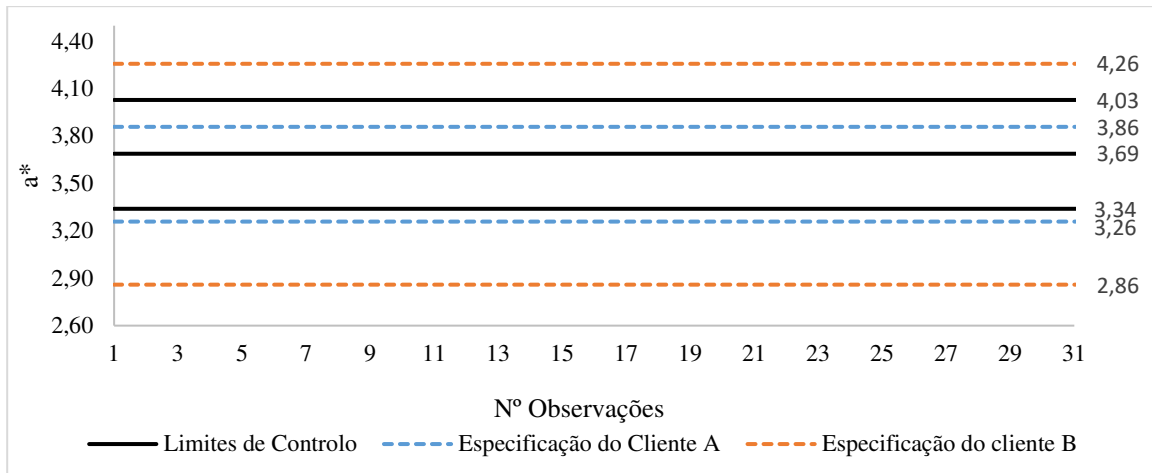


Figura 4.35- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelos clientes A e B para o produto A, característica a*.

Ao nível da característica a*, verifica-se (Figura 4.35) que para o cliente B a especificação definida é superior à variabilidade natural do processo, desta o processo será capaz de cumprir com as especificações estabelecidas pelo cliente. Relativamente ao cliente A, verifica-se que a especificação superior é mais baixa do que a variabilidade natural do processo, o que nos permite concluir que o processo irá produzir lotes mais verdes. No que toca à especificação inferior verifica-se que é superior ao limite inferior de controle.

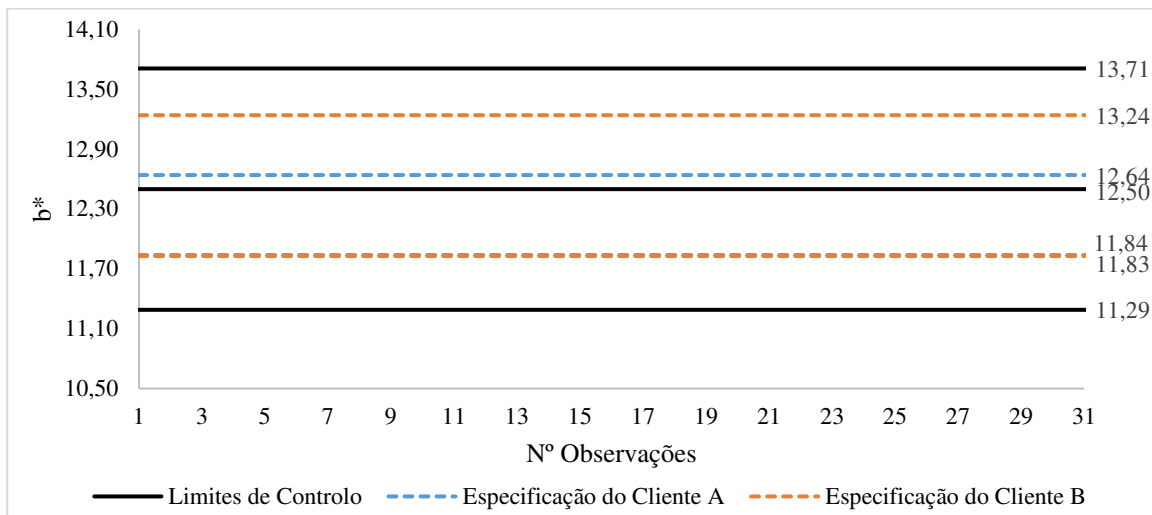


Figura 4.36- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelos clientes A e B para o produto A, característica b*.

A variável b* (Figura 4.36) demonstra que a variabilidade natural do processo é maior que as especificações estabelecidas para os clientes A e B, desta forma existirá sempre a produção de lotes mais amarelos e mais azuis que o padrão.

Ao nível da variabilidade natural do processo uma vez que está diretamente relacionada com a ocorrência de causas especiais, a melhor forma de a reduzir seria através da redução ou eliminação das variáveis que podem provocá-las. Para o processo em estudo verifica-se através do anexo I, que este produto pode ser fabricado em

quantidades e máquinas diferentes (misturadora e extrusora), o que vai acrescentar uma maior variabilidade ao processo. Num contexto de produção ideal, seria produzido a mesma quantidade e utilizadas as mesmas máquinas, misturadora e extrusora.

O tipo de máquina a utilizar está normalmente pendente da quantidade de produto a fabricar, desta forma a empresa poderia avaliar junto do cliente a possibilidade de encomendar sempre o mesmo, por exemplo 100kg ao invés de encomendas de 25, 100, 300, 25kg.

Para este produto A, entende-se que as especificações sejam muito apertadas uma vez que a aplicação são orlas de mobiliário (Figura 4.37), as quais são colocadas nas partes laterais de tampos de mesas, bancadas, entre outras. Este tipo de aplicação final requer um controlo mais apertado porque a sua cor tem de coincidir com a cor da parte superior desses tampos, cujo revestimento é fabricado em materiais e recorrendo a processos diferentes dos usados no fabrico das orlas. A forma de aumentar a capacidade do processo face às especificações definidas era renegociar as mesmas com o cliente, mas tal como se viu anteriormente a cor obtida é muito importante na aplicação final.



Figura 4.37- Orlas, antes e após colocação nos tampos.

Concluiu-se que com a aplicação dos parâmetros do processo controlado nestas características seriam uma mais-valia para a empresa uma vez que permitiriam que fossem detetadas as causas normais e anormais. A utilização destas cartas no futuro permitia ao operador detetar a produção de produtos não conformes assim como distinguir as causas normais das anormais a atuarem no processo. Esta informação possibilita ainda a avaliação da necessidade de realizar uma auditoria ao processo.

As auditorias ao processo para identificação de causas anormais a atuar no processo demonstraram-se bastante pertinentes e importantes uma vez que permite retirar conclusões do que pode ter ocorrido.

Conclui-se que os limites estabelecidos pelos clientes são normalmente mais apertados em relação à capacidade do processo. A forma mais eficaz de aumentar a taxa de aceitação dos lotes seria redefinir com cada cliente os intervalos de aceitação. Os lotes não conformes implicam que exista uma necessidade de correção. Como forma de contornar este problema, é adicionado um custo extra de produção ao produto, desta forma o cliente obtém o produto pretendido e a empresa não apresenta desperdício e prejuízo. Seria importante para este processo apertar ainda mais os limites de controlo do processo.

Sugere-se como forma de contornar e eliminar estas causas anormais que a empresa invista em mais formação como forma de sensibilizar os operadores a terem um maior cuidado durante o processamento, a evitar as correntes de ar durante as pesagens dos componentes.

Com base nos dados obtidos, concluiu-se ainda que a especificação mais apertada que o processo conseguiria satisfazer para as características em estudo L*, a* e b* seria, L*: LSE=74,05 e LIE= 72,35; a*: LSE=4,03 e LIE= 3,34; b*: LSE=13,71 e LIE=11,29.

É importante salientar que qualquer alteração que ocorra ao processo, desde alteração nos componentes, parâmetros estabelecidos para o processamento, método de operação podem afetar a cor do lote produzido. A cor é muito sensível a variações.

Probabilidade de produção de lotes não conformes

A probabilidade de serem produzidos lotes não conformes (acima dos limites de especificação) é determinada através das fórmulas 4.1 e 4.2:

$$P(Z > LSE) = \frac{LSE - \mu}{\sigma} \quad (4.1)$$

$$P(Z < LIE) = \frac{\mu - LIE}{\sigma} \quad (4.2)$$

Utilizaram-se os parâmetros definidos na tabela 4.6 assim como a tabela de distribuição normal reduzida presente no anexo III (Figura III.3).

Tabela 4.6- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto A, características em estudo L*, a* e b*

Característica	L*	a*	b*
<i>P(X < LIE)</i>	0,212%	0,001%	4,95%
<i>P(X > LSE)</i>	23,89%	6,06%	36,32%

Comparando estes resultados com a % de lotes corrigidos, considerados tecnicamente fora de controlo, temos:

Coordenada L*: 25% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a L* é cerca de 24%. Também neste caso, embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá uma percentagem elevada de lotes fora de especificação, superior a 23%.

Coordenada a*: 19% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, vimos através dos resultados apresentados na tabela 5.6 que a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a a* é inferior a 1%.

Coordenada b*: 34% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, a probabilidade de se produzir lotes não conformes

devido a b^* é cerca de 36%. Neste caso, embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá 36% dos lotes fora de especificação.

De seguida apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos para os outros dois produtos estudados. A metodologia utilizada na análise dos dados disponíveis foi semelhante. No anexo I apresentam-se os dados para cada um dos lotes produzidos. No anexo II apresentam-se as cartas obtidas ao longo do processo de determinação dos limites de controlo.

▪ Produto B

O produto B é um concentrado de pigmentos envolvidos numa matriz polimérica, ou resina base. A resina base do produto, PS-HI, é uma variante do poliestireno cristal misturado com uma percentagem de borracha.

Na formulação deste produto existem 4 pigmentos diferentes, dos quais 1 com percentagens muito baixas (abaixo de 1%), o que pode levar a que perda de um dos componentes vá influenciar a cor do produto.

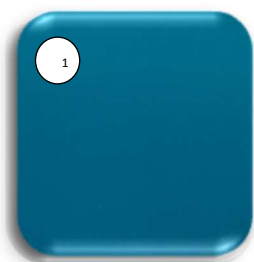


Figura 4.38- Placa 1 conforme para o produto B.

$$\begin{aligned} L^* &= 42,69 \\ a^* &= -24,21 \\ b^* &= -13,35 \end{aligned}$$



Figura 4.39- Placa 2 não conforme para o produto B.

$$\begin{aligned} L^* &= 43,30 \\ a^* &= -26,05 \\ b^* &= -12,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= 42,69 - 43,30 = -0,61 \\ \Delta a &= -24,21 - (-26,05) = -1,84 \\ \Delta b &= 12,79 - 12,85 = -0,5 \end{aligned}$$

Na figura 4.38 e 4.39 estão representadas duas placas correspondentes à injeção dos lotes identificados como 1 e 2, a 3% em PS-HI. De seguida é determinada a diferença de cor entre as placas dos lotes e o padrão, assim como a diferença de cor entre as duas placas.

Verifica-se que existe uma diferença na tonalidade entre a placa 1 e a placa 2. Obtiveram-se valores de $\Delta L = -0,61$ que indica que a placa 2 está mais escura que a 1, $\Delta a = -1,84$ que indica que a placa está mais verde e $\Delta b = -0,5$ que está mais azul. A placa 1 corresponde ao lote conforme e a placa 2 ao produto não conforme.

Análise da variabilidade

A característica b^* é responsável por indicar se o produto está mais azul ou amarelo quando comparado a um padrão (coordenadas de cor previamente aprovadas pelo cliente).

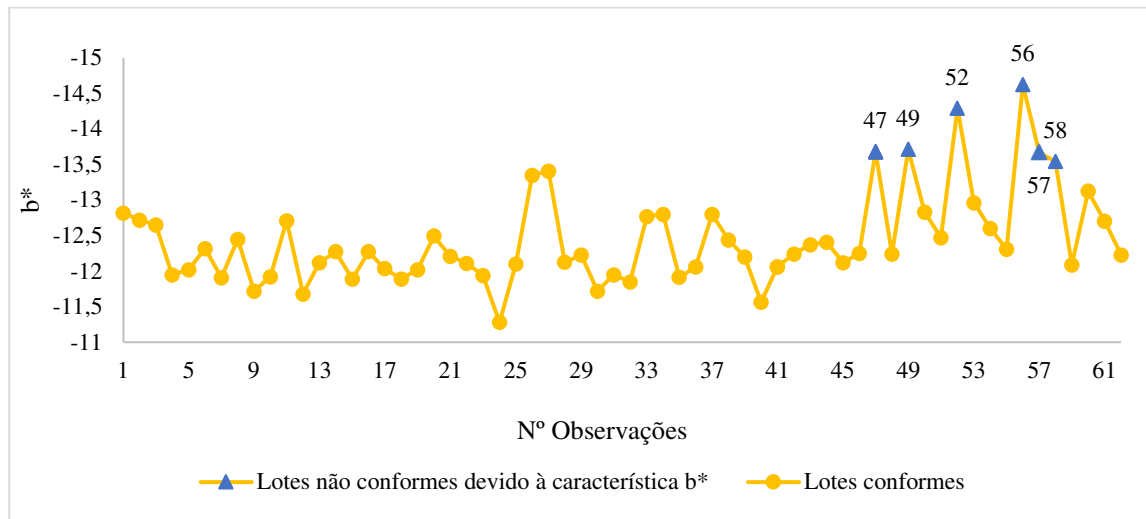


Figura 4.40- Número de observações e correções efetuadas para o produto A, característica b^* .

Na figura 4.40 representam-se os valores da variável b^* obtidos pelas medições de cor realizadas. A azul estão assinalados os lotes corrigidos devido a não conformidade no valor de b^* . Esta característica apresenta uma maior variabilidade na gama de valores obtidos a partir da observação nº 47.

A figura 4.40 ilustra que, em 63 lotes, 15 foram corrigidos, o que dá cerca de 24% de lotes tecnicamente fora de controlo.

Relativamente à coordenada b^* existem 6 lotes que foram corrigidos. Em percentagem temos 10% na coordenada b^* .

Esta % de produtos corrigidos que estão dentro de controlo estatístico evidenciam que a especificação é mais apertada que a variação normal do processo. As cartas de controlo permitem identificar os lotes que corresponderam efetivamente a pontos estatisticamente fora de controlo.

Carta de observações individuais e amplitudes móveis

Como forma de verificar a estabilidade do processo e posteriormente a estimar os parâmetros do processo aplicou-se a 1ª fase do controlo estatístico do processo.

Uma vez que existem dados suficientes para estimar os parâmetros do processo, utilizou-se as cartas de Shewart para a determinação dos mesmos.

Com recurso ao excel e ao software Statistica, construíram-se as cartas de observações individuais (X) e de amplitudes móveis (MR), para as coordenadas de cor L^* , a^* e b^* , de modo a identificar os pontos fora de

controlo e determinar os parâmetros de controlo para um processo capaz. Utilizou-se ainda as regras de deteção de causas especiais definidas segundo a norma ISO 8258:1991.

Nas figuras 4.41 a 4.46 apresentam-se as cartas obtidas com todos os pontos e nas figuras 4.47 a 4.52 as cartas finais, depois de retirados todos os pontos fora de controlo. Todas as cartas efetuadas são apresentadas no Anexo II. (Figuras II.36 a II.66).

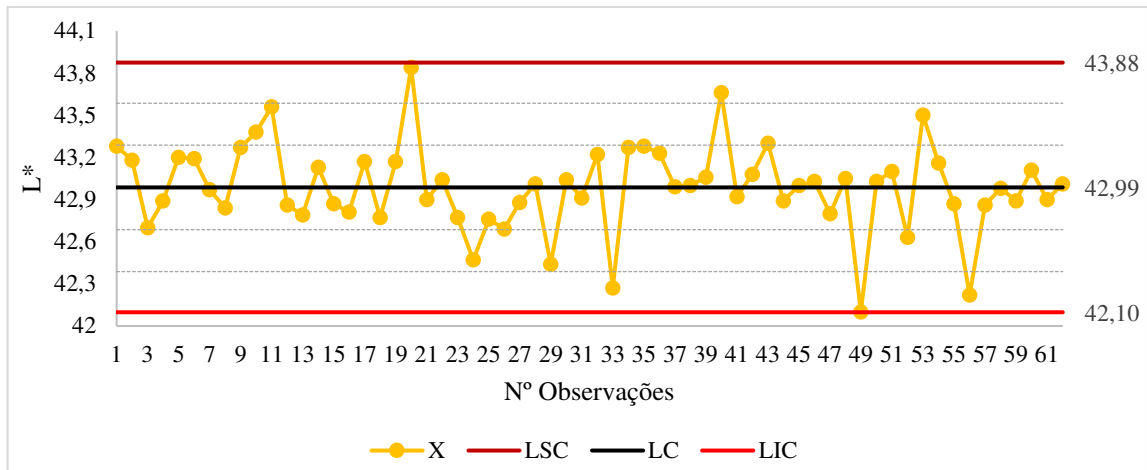


Figura 4.41- Carta X para o produto B, característica L* (62 pontos).

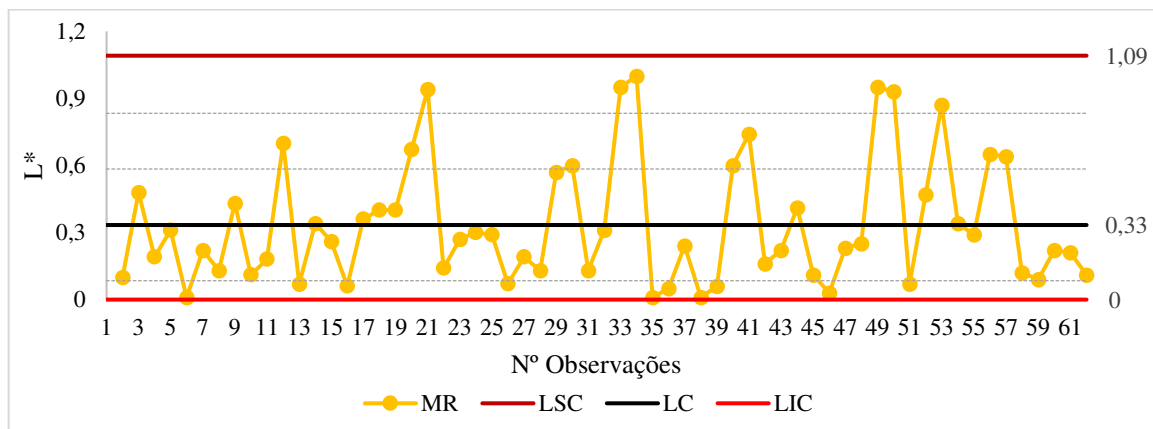


Figura 4.42- Carta MR para o produto B, característica L* (62 pontos).

Através da análise gráfica à figura 4.41, verifica-se que das 62 observações (lotes) escolhidas nenhuma está fora dos limites de controlo calculados, isto é, o processo está estatisticamente dentro de controlo.

A figura 4.42, carta MR para a característica L* não apresenta nenhuma causa anormal a atuar no processo, desta forma confirma-se que o processo está controlado.

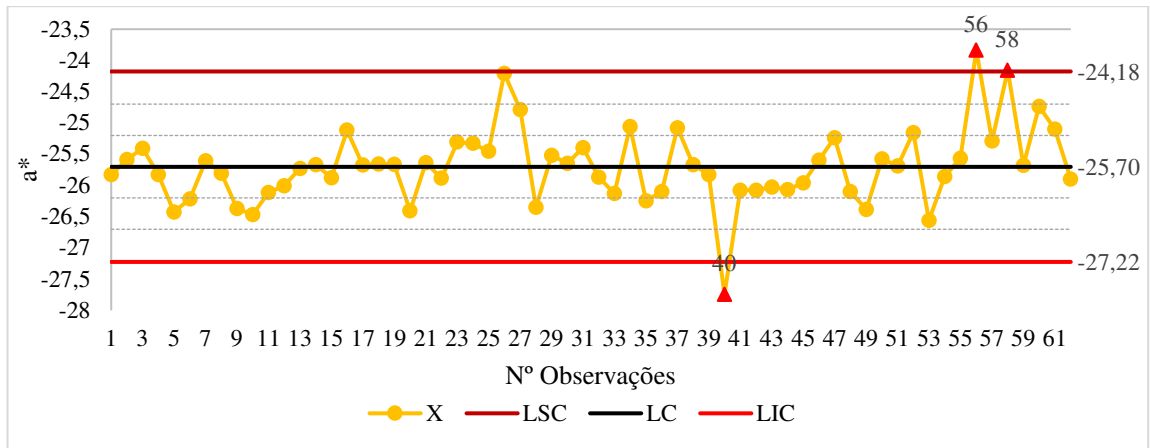


Figura 4.43- Carta X para o produto B, característica a^* (62 pontos).

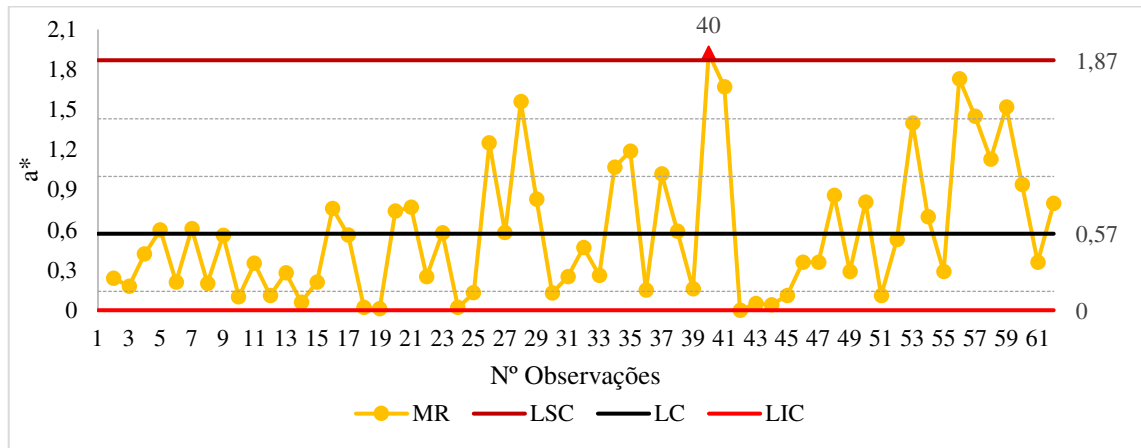


Figura 4.44- Carta MR para o produto B, característica a^* (62 pontos).

Ao contrário da característica L^* , que não apresentava observações fora de controle estatístico, a característica a^* apresenta 3 observações. A figura 4.43 assinala 3 pontos estatisticamente fora de controle, observação nº 40, 56 e 58. Estes pontos evidenciam a existência de causas anormais de variação a atuarem no processo. Estas observações correspondem ainda a lotes que necessitaram de levar correção, isto é, lotes tecnicamente fora de controle. Neste caso justificou-se a necessidade de correção como forma de emendar a causa anormal de variação.

A figura 4.44 referente à característica a^* apresenta uma causa anormal atuar no processo, observação nº40.

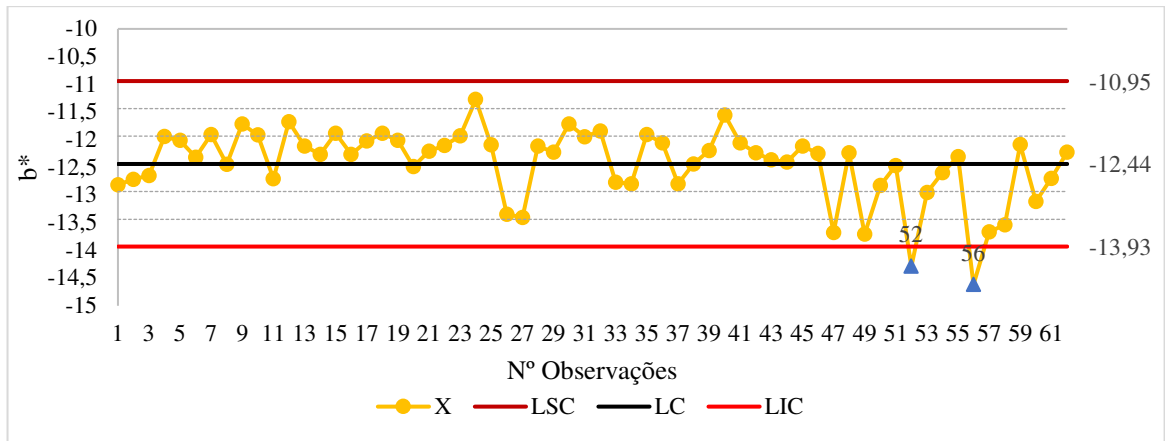


Figura 4.45 - Carta X para o produto B, característica b* (62 pontos).

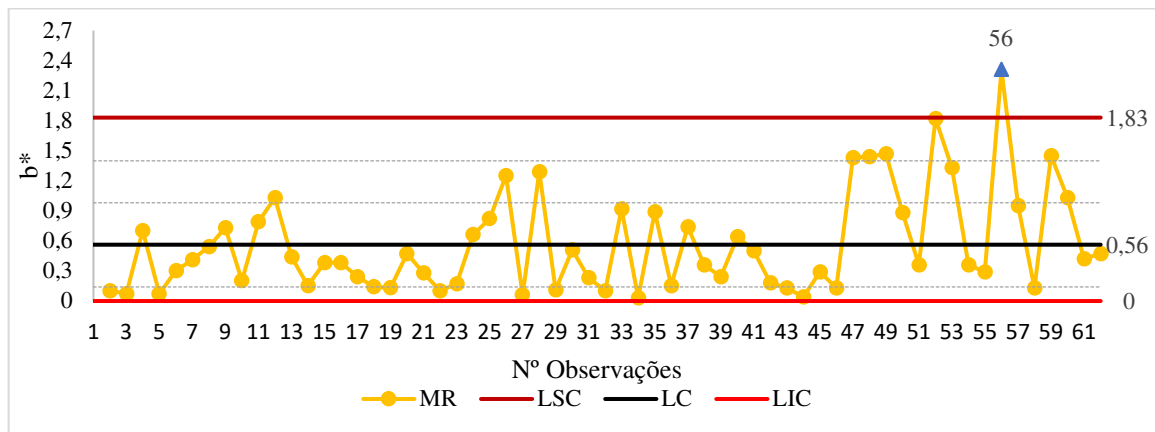


Figura 4.46- Carta MR para o produto B, característica b* (62 pontos).

As figuras 4.45 que representam a carta X para a característica b* assinalam a presença de 2 pontos fora dos limites de controlo calculados, observações 52 e 56. Estas observações correspondem a pontos tecnicamente fora de controlo estatístico, o que justifica as correções realizadas. Estes pontos estavam mais azuis que o padrão.

A característica b* (Figura 4.46) detetou uma causa anormal atuar no processo, observação 56.

Verificou-se que a característica que sofreu maior oscilação nos valores apresentados foi a* com valores de Δa a variarem entre 2,21 (mais vermelhos) e -1,7 (mais verdes). A média de produtos mais vermelhos foi de 73% e mais verdes de 27%. Para os casos em que os lotes estão mais vermelhos é devido à perda de pigmento verde.

Como a avaliação da cor está dependente da análise das três coordenadas de cor, L* a* e b* e da comparação com um padrão, surge muitas vezes a necessidade de correção. Essa correção pode muitas vezes representar apenas um desvio numa das coordenadas.

De modo a calcular os limites de controlo do processo sob controlo estatístico, eliminaram-se as observações correspondentes a causas anormais a atuar no processo, e construíram-se novas cartas de controlo com os

respetivos limites. Os dados e as cartas efetuadas encontram-se apresentadas no anexo II (Figura II.13 a figura II.42).

As restantes 33 observações foram utilizadas para elaborar as cartas de controlo representadas nas figuras 4.47, 4.49 e 4.51 (cartas de valores individuais, X) e nas figuras 4.48, 4.50 e 4.52 (cartas de controlo das amplitudes móveis, MR).

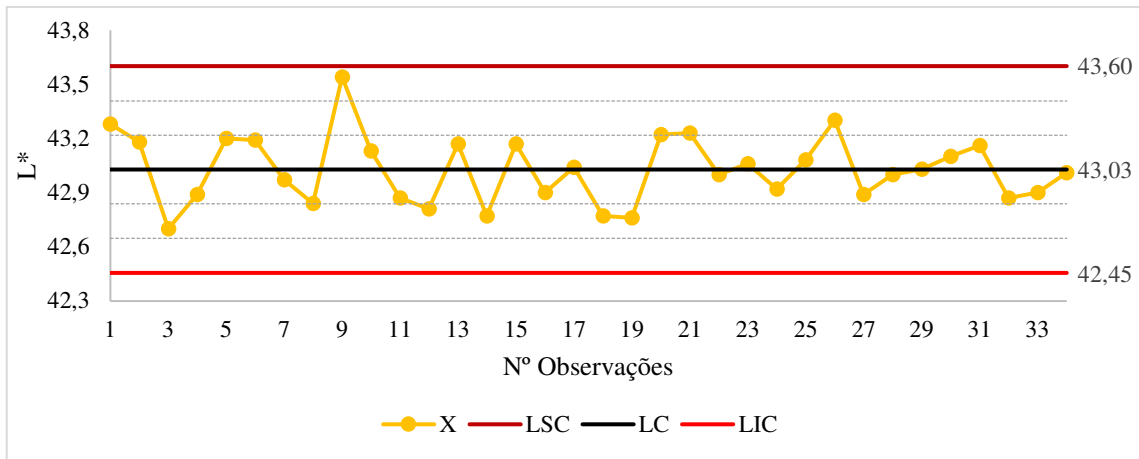


Figura 4.47- Carta X para o produto B, característica L* (34 pontos).

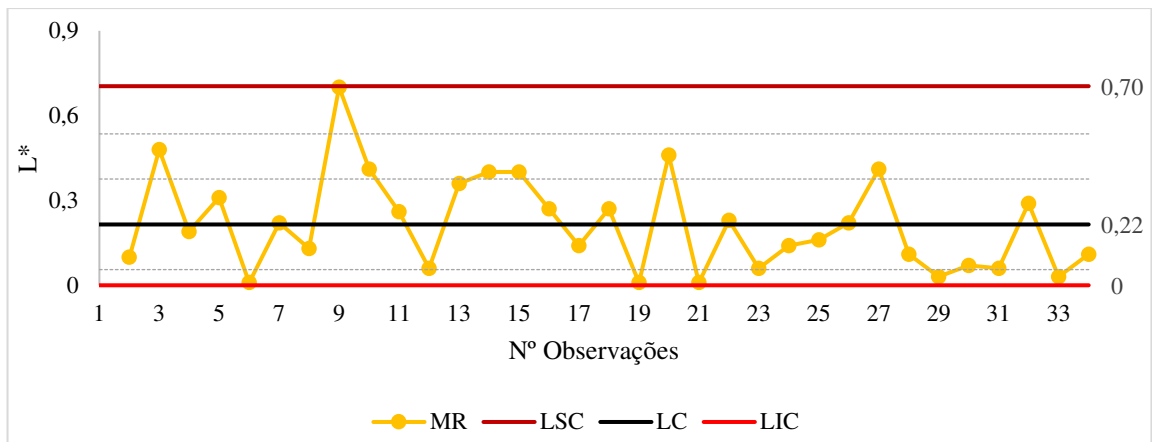


Figura 4.48- Carta MR para o produto B, característica L* (34 pontos).

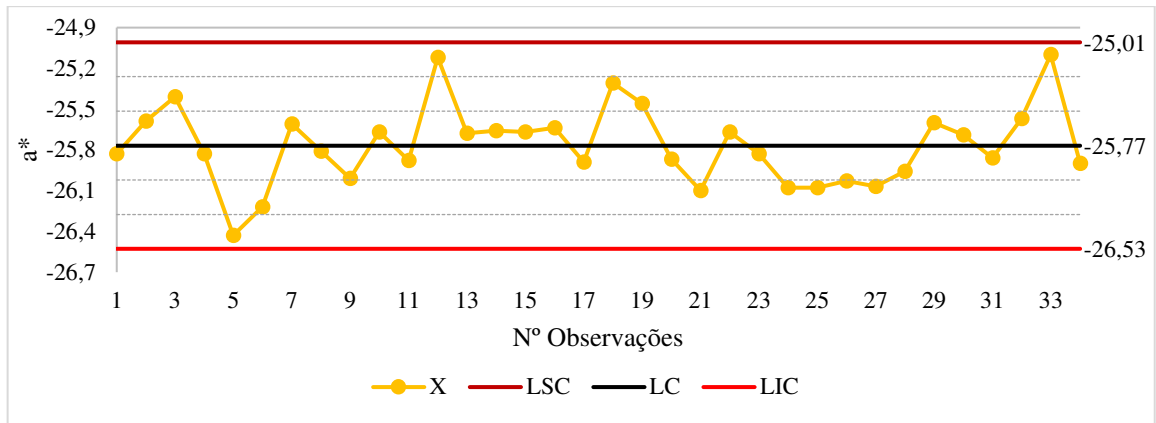


Figura 4.49- Carta X para o produto B, característica a^* (34 pontos).

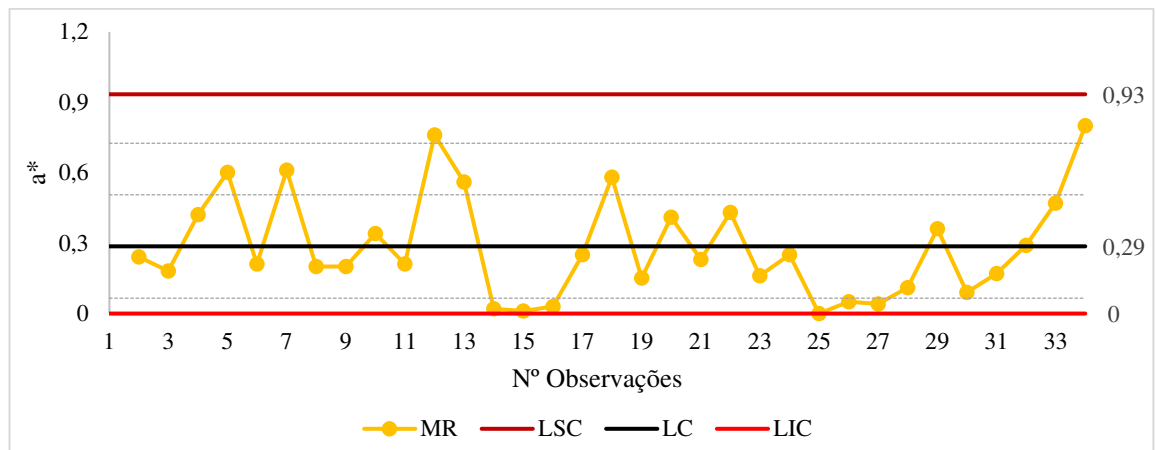


Figura 4.50- Carta MR para o produto B, característica a^* (34 pontos).

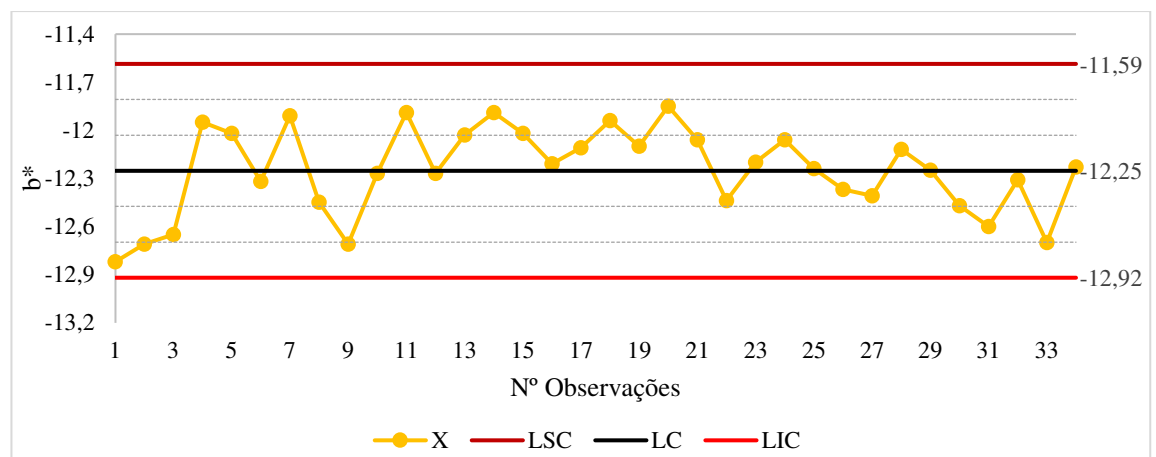


Figura 4.51- Carta X para o produto B, característica b^* (34 pontos).

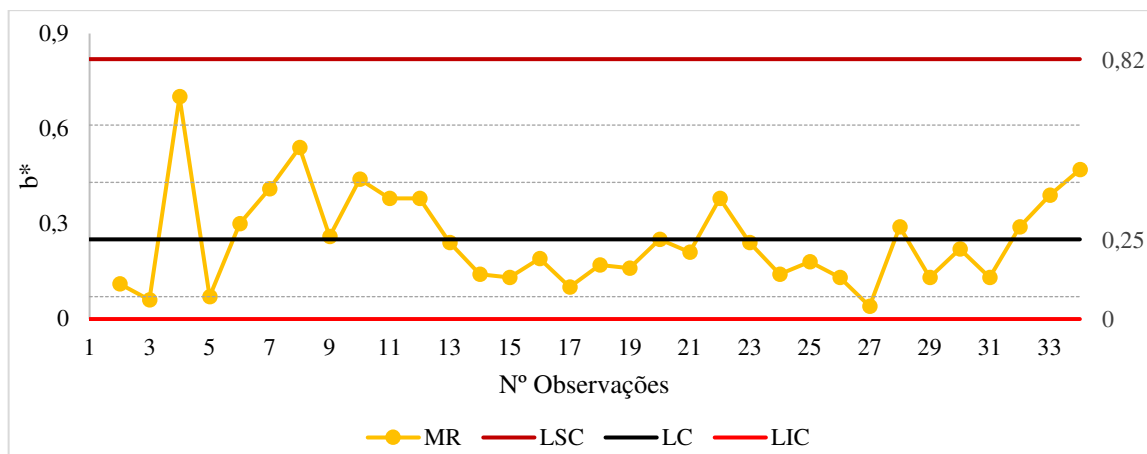


Figura 4.52- Carta MR para o produto B, característica b* (34 pontos).

Verificou-se a inexistência de pontos fora dos limites de controle, o que permite concluir que o processo está controlado. Uma vez que o processo está controlado, retiraram-se os parâmetros, média e desvio padrão para posteriormente analisar a capacidade do processo.

Normalidade da distribuição dos dados

Após serem retirados os pontos fora de controle, voltou-se a elaborar as cartas e verificou-se que não existiam dados fora dos limites de controle. Desta forma realizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov como forma de averiguar a distribuição dos dados. O valor de $D_{crítico}$ obtido está expresso no anexo III (Figura III.2).

Tabela 4.7- Parâmetros obtidos para o teste de Kolmogorov-Smirnov para o produto B.

Característica	L*	a*	b*
α	5%	5%	5%
n	34	34	34
$D_{crítico}$	0,152	0,152	0,152
D	0,1048	0,0997	0,0993
Conclusão	D < $D_{crítico}$ - Segue uma distribuição normal	D < $D_{crítico}$ - Segue uma distribuição normal	D < $D_{crítico}$ - Segue uma distribuição normal

Com base nos valores obtidos na tabela 4.7 pela aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov verifica-se que para os produtos B, C e D as características L, a e b cumprem a condição $D < D_{crítico}$. Desta forma é também válida a conclusão retirada para o produto A, isto é, os dados seguem uma distribuição normal para um nível de significância α de 5%.

Análise da capacidade do processo de fabrico

Uma vez que os dados a analisar seguem uma distribuição normal, a capacidade de o processo cumprir especificações foi analisada com base nos índices de capacidade.

A capacidade de o processo produtivo cumprir as especificações do cliente é também analisada qualitativamente através da representação gráfica, onde se compara os limites de controlo com as especificações do cliente.

Cálculo dos índices de capacidade do processo

Os valores utilizados correspondem ao processo controlado, isto é, foram retirados da carta após se confirmar a inexistência de dados anormais no processo. Foi igualmente importante garantir que os mesmos seguiam uma distribuição normal.

Utilizou-se como especificação $LIE = -13,35$. O cliente rejeitou um lote mais azul do que o padrão, com $b^* = -13,35$, e este valor ficou definido como limite inferior de controlo.

A partir das cartas sob controlo estatístico efetuadas, foram obtidos os parâmetros da média e do desvio padrão, indicados na tabela 4.8.

Tabela 4.8- Parâmetros obtidos a partir do processo controlado para o produto B.

Características	b*
Média	-12,25
Desvio padrão	0,22

Os índices de capacidade foram determinados com recurso às fórmulas 22 a 24 e apresentam-se na tabela 4.9.

Tabela 4.9- Índices de capacidade do processo obtidos para a características b^* , para o produto B.

Características	b*
LIE	-13,35
$(C_{pk})_I$	1,66
Conclusão	$C_{pk} > 1,33$

Concluiu-se que o processo é capaz de produzir produtos conforme a especificação definida.

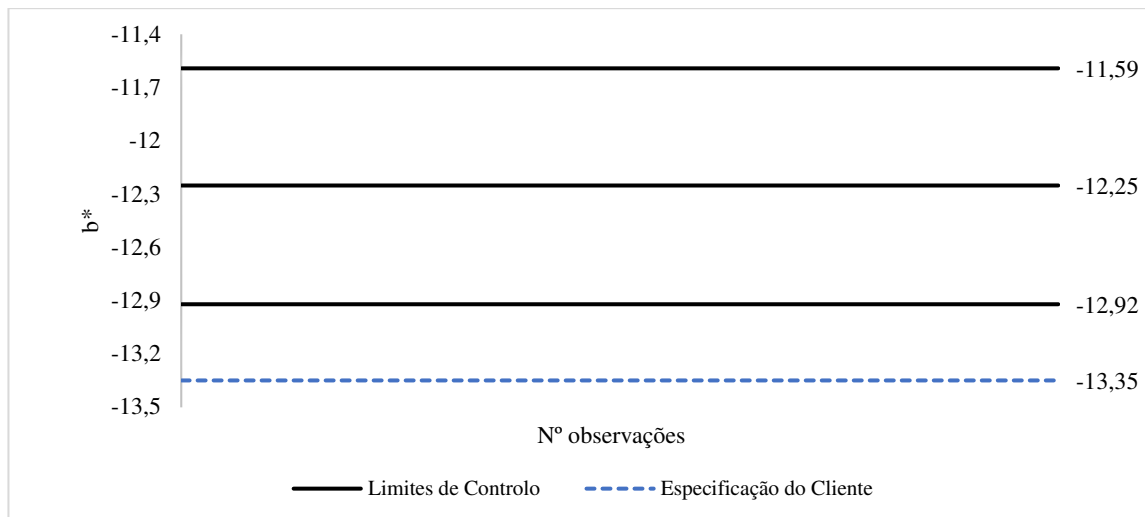


Figura 4.53- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto B, característica b*.

Verifica-se pela figura 4.53 que a especificação do cliente é maior que a variabilidade natural do processo, desta forma o processo será capaz de cumprir com a especificação do cliente.

É importante que o lote produzido esteja sempre o mais perto dos valores definidos para o padrão. Uma vez que a aplicação final é em aquários, torna-se necessário que os lotes produzidos não difiram muito entre eles. As peças que constituem o aquário (Figura 4.54) podem ser fabricadas com diferentes lotes, o desta forma não convém que existam grandes diferenças, para que não existam diferenças quando posteriormente o mesmo é montado e todas as peças são colocadas.



Figura 4.54-Modura para aquários produzido com o produto B.

Concluiu-se após análise ao produto B, que o processo após controlado conseguiria produzir uma baixa quantidade de lotes não conformes (a variabilidade reduziu). De forma a evitar a ocorrência de causas normais que afetam a variabilidade natural do processo, a empresa deveria eliminar todas as variáveis que as podem causar, como manter a mesma quantidade e as mesmas máquinas de produção.

Como forma de eliminar a existência de causas anormais a empresa poderia aumentar o número de sessões de formação, dando mais ênfase para a produção de lotes não conformes e causas a elas associadas. Solicitar aos

operadores para evitarem as correntes de ar (evita a contaminação) e terem mais atenção à forma como estão a realizar o procedimento (cumprir com todos os passos) de forma a evitarem a ocorrência.

Cumprir com as necessidades e expectativas do cliente é uma das prioridades da empresa, desta forma o lote produzido deve ser ir ao encontro do acordado e aprovado com o cliente (cor do padrão).

É importante salientar que qualquer alteração que ocorra ao processo, desde alteração nos componentes, parâmetros estabelecidos para o processamento, método de operação vão afetar a cor do lote produzido. A cor é muito sensível a variações. A natureza e a quantidade dos componentes utilizados na formulação do produto também podem afetar a cor final.

Probabilidade de produção de lotes não conformes

A probabilidade de serem produzidos lotes não conformes (acima dos limites de especificação) é determinada através das fórmulas 4.1 e 4.2.

Utilizaram-se os parâmetros definidos na tabela 5.10 assim como a tabela de distribuição normal reduzida presente no anexo III. A probabilidade de produção de lotes não conformes está indicada na tabela 4.10.

Tabela 4.10- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto B, característica b*.

Característica	b*
$P(X < LIE)$	0,001%

Comparando estes resultados com a % de lotes corrigidos, considerados tecnicamente fora de controlo, temos:

10% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada, b*. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a b* é cerca de <0,1%. Neste caso a % de lotes não conformes produzidos é quase nula.

Após aplicação da fase 1 do controlo estatístico do processo seria aplicada a fase 2, monitorização do processo. Neste trabalho não foi possível realizar a monitorização do processo uma vez que não existiam dados suficientes para aplicação do mesmo.

▪ Produto C

O produto C é um concentrado de pigmentos envolvidos numa matriz polimérica, ou resina base. A resina base do produto, SAN, é transparente e tem uma elevada resistência química e ao impacto.

Na formulação deste produto existem 4 pigmentos diferentes, dos quais 2 em percentagens muito baixas (abaixo de 1%), o que pode levar a que perda de um dos componentes vá influenciar a cor do produto.

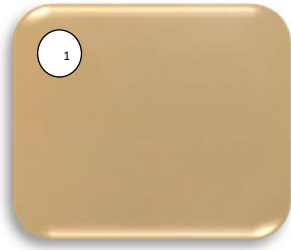


Figura 4.55- Placa conforme para o produto C.

$$L^* = 72,06$$

$$a^* = 11,35$$

$$b^* = 24,81$$

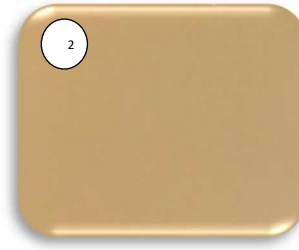


Figura 4.56- Placa não conforme para o produto C.

$$L^* = 71,93$$

$$a^* = 10,62$$

$$b^* = 26,24$$

$$\Delta L = 72,06 - 71,93 = -0,29$$

$$\Delta a = 11,35 - 10,62 = -0,08$$

$$\Delta b = 24,81 - 26,24 = -0,27$$

Na figura 4.55 e 4.56 estão representadas duas placas correspondentes à injeção dos lotes identificados como 1 e 2, a 5% em ABS. De seguida é determinada a diferença de cor entre as placas dos lotes e o padrão, assim como a diferença de cor entre as duas placas.

Verifica-se que existe uma diferença na tonalidade entre a placa 1 e a placa 2. Obtiveram-se valores de $\Delta L = -0,29$ indica que a placa 2 está mais escura que a 1, $\Delta a = -0,08$ o que indica que a placa está mais verde e $\Delta b = -0,27$ está mais azul. A placa 1 corresponde ao lote conforme e a placa 2 ao produto não conforme.

Análise da variabilidade

A característica L^* é responsável por indicar se o produto está mais escuro ou mais claro quando comparado a um padrão (coordenadas de cor previamente aprovadas pelo cliente). A característica a^* indica se o produto está mais verde ou mais vermelho e a característica b^* se mais azul ou amarelo.

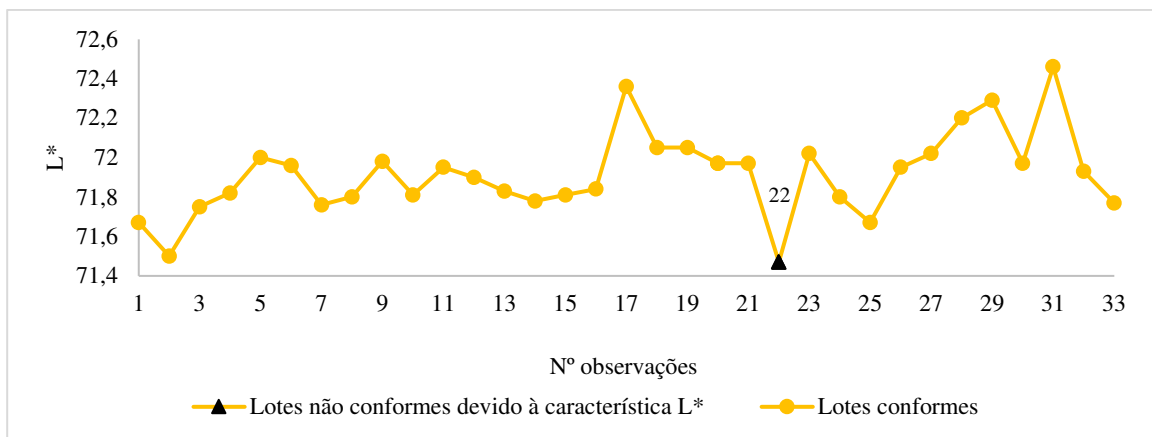


Figura 4.57- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica L^* .

A figura 4.57 representa os valores de L^* obtidos nas medições de cor efetuadas no controlo da qualidade dos vários lotes fabricados. Os valores assinalados com triângulo referem-se a lotes que foram considerados não conformes. A preto assinalam-se os lotes corrigidos devido à característica L^* . Verifica-se que para esta característica não houve grande variabilidade na gama de valores obtido.

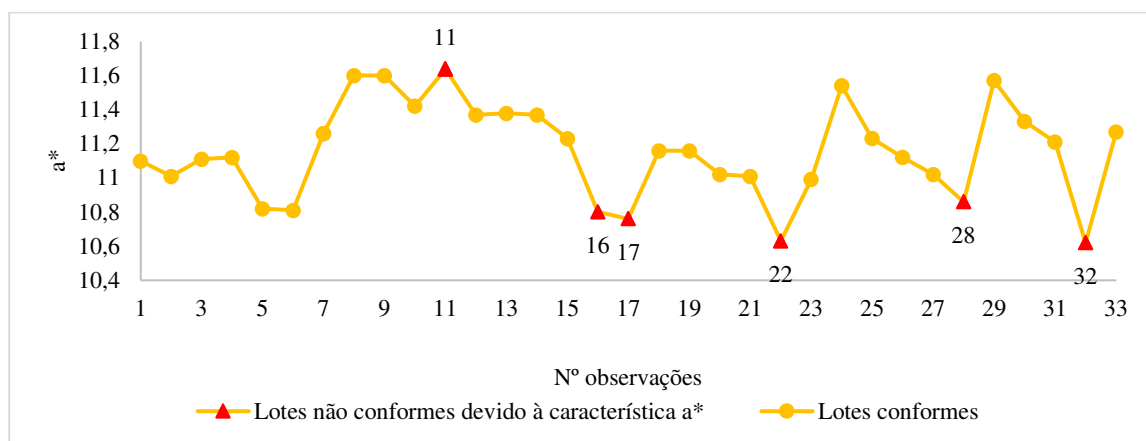


Figura 4.58- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica a^* .

Na figura 4.58 estão representados os valores da variável a , igualmente obtidos nas medições de cor efetuadas no controlo da qualidade. A vermelho estão assinalados os lotes corrigidos devido a não conformidade no valor de a^* . Nesta característica verifica-se que existe variação nos valores obtidos, isto é, valores mais altos (mais vermelhos) e valores mais baixos (mais verdes) que o padrão.

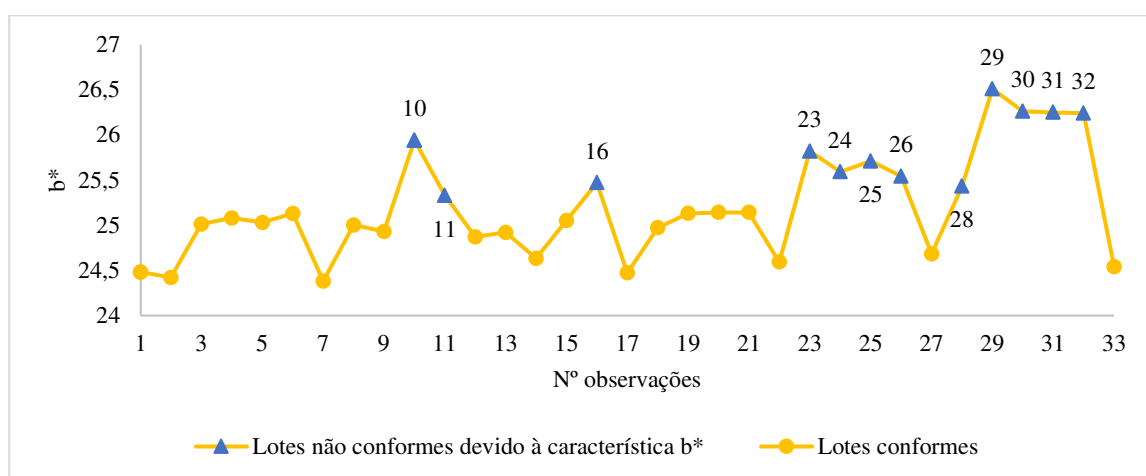


Figura 4.59- Número de observações e correções efetuadas para o produto C, característica b^* .

Na figura 4.59 representam-se os valores da variável b^* obtidos pelas medições de cor realizadas. A azul estão assinalados os lotes corrigidos devido a não conformidade no valor de b^* . Esta característica apresenta uma maior variabilidade na gama de valores obtidos a partir da observação nº 23.

As figuras 4.57, 4.58 e 4.59 ilustram que, em 33 lotes, 14 foram corrigidos, o que dá cerca de 42% de lotes tecnicamente fora de controlo.

Relativamente a cada coordenada, 1 lote foi corrigido devido a desvios na coordenada L^* , 6 lotes devido à coordenada a^* e 12 lotes devido à coordenada b^* . Em percentagem temos 3% dos lotes tecnicamente fora de controlo na coordenada L^* , 18% na coordenada a^* e 36% na coordenada b^* .

As cartas de controlo permitem identificar os lotes que corresponderam efetivamente a pontos estatisticamente fora de controlo.

Carta de observações individuais e amplitudes móveis

Como forma de verificar a estabilidade do processo e posteriormente a estimar os parâmetros do processo aplicou-se a 1ª fase do controlo estatístico do processo.

Uma vez que existem dados suficientes para estimar os parâmetros do processo, utilizou-se as cartas de Shewart para a determinação dos mesmos.

Com recurso ao excel e ao software Statistica, construíram-se as cartas de observações individuais (X) e de amplitudes móveis (MR), para as coordenadas de cor L^* , a^* e b^* , de modo a identificar os pontos fora de controlo e determinar os parâmetros de controlo para um processo capaz. Utilizou-se ainda as regras de deteção de causas especiais definidas segundo a norma ISO 8258:1991.

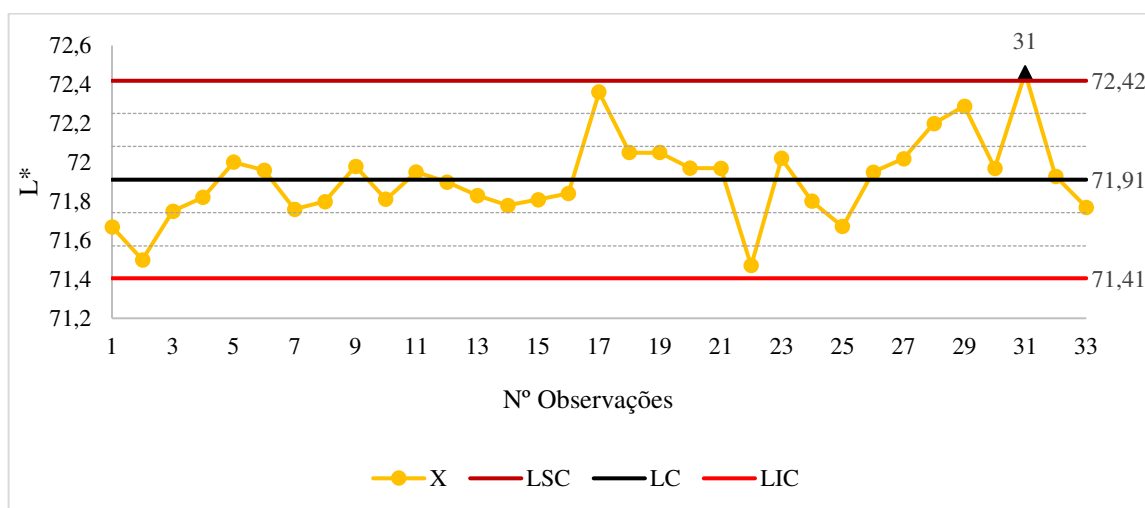


Figura 4.60- Carta X para o produto C, característica L^* (33 pontos).

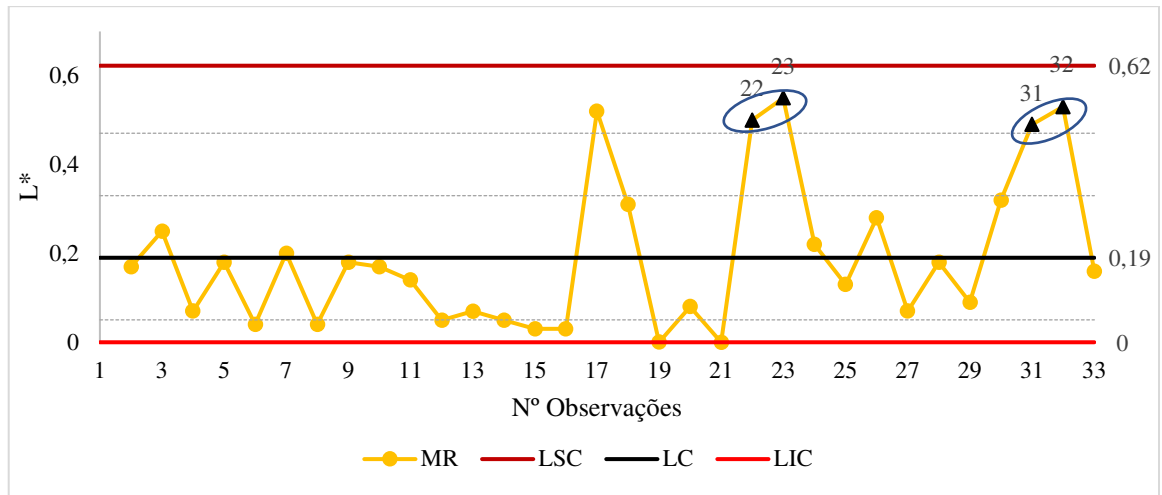


Figura 4.61- Carta MR para o produto C, característica L* (33 pontos).

Com base na análise gráfica da figura 4.60, existe um ponto fora dos limites de controle estatístico, observação 31, que indica que houve uma causa anormal a atuar no processo. Esta observação também representa um ponto tecnicamente fora de controle, o que é normal uma vez que foi corrigido para emendar essa mesma causa anormal. A observação em causa, 31 está mais claro que o padrão, esta alteração pode ser explicada pela ocorrência de perda de pigmentos e eventualmente uma contaminação com resíduos de outro produto.

Após aplicação das regras de detecção de causas especiais segundo a norma ISO 8258:1991, verifica-se a existência de 4 causas especiais na figura 4.61. Segundo esta norma as observações 22, 23, 31 e 32 são detetadas com base na regra 5, dois de três pontos na zona A do mesmo lado que a linha central. A eliminação destas causas especiais permite diminuir o número de falsos alarmes e consequentemente diminuir os custos associados. Ambos os pontos detetados correspondem a lotes tecnicamente fora de controle que necessitaram de correção, nestes casos ocorreram causas normais de variação como utilização de diferentes misturadoras e extrusoras.

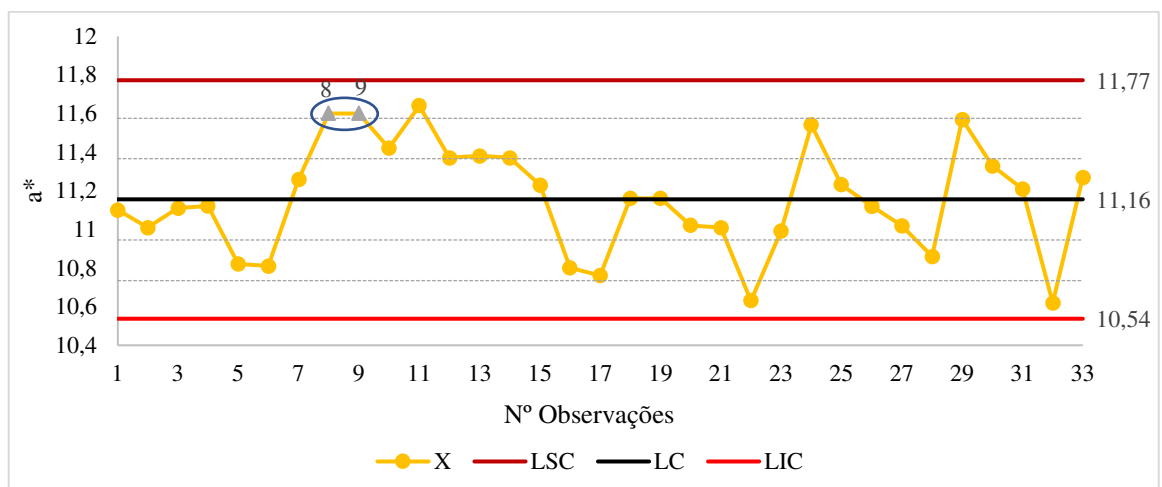


Figura 4.62- Carta X para o produto C, característica a* (33 pontos).

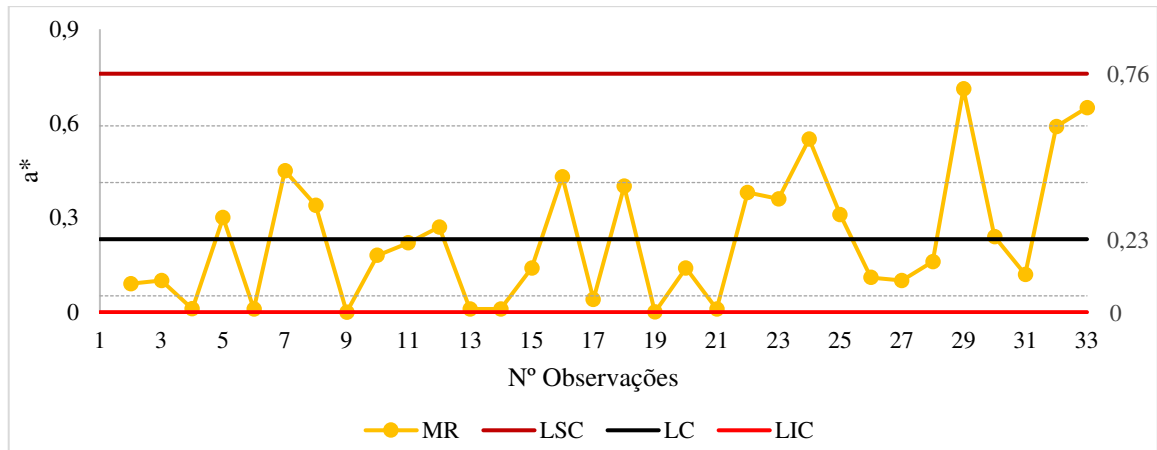


Figura 4.63- Carta MR para o produto C, característica a^* (33 pontos).

Para a característica a^* , tal como está evidenciado na figura 4.62 verifica-se a existência de 2 causas especiais, observações 8 e 9 (segundo a norma ISO, regra 5). A eliminação destas causas é importante porque permite eliminar os falsos alarmes com lotes não conformes.

A figura 4.63, que representa a carta MR para as características a^* não deteta causas anormais a ocorrerem no processo, desta forma conclui-se que o processo está controlado.

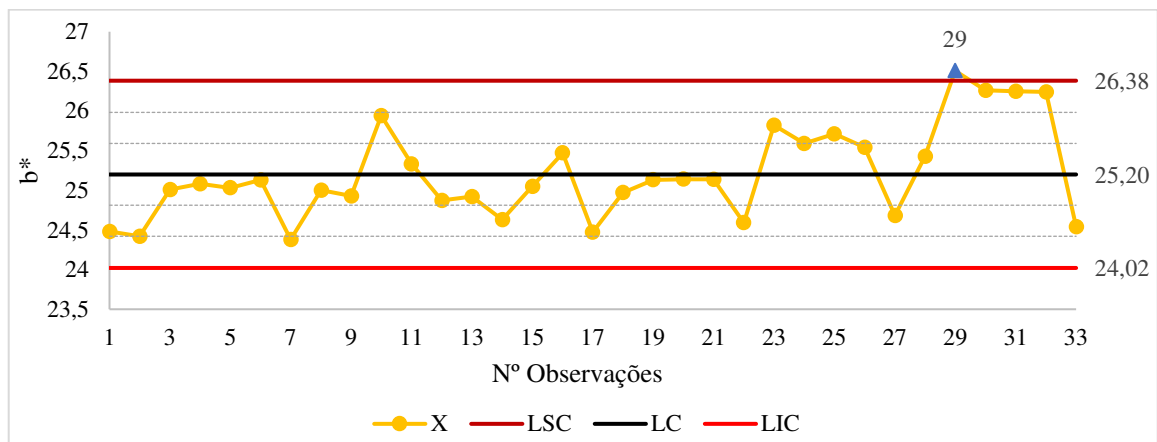


Figura 4.64- Carta X para o produto C, característica b^* (33 pontos).

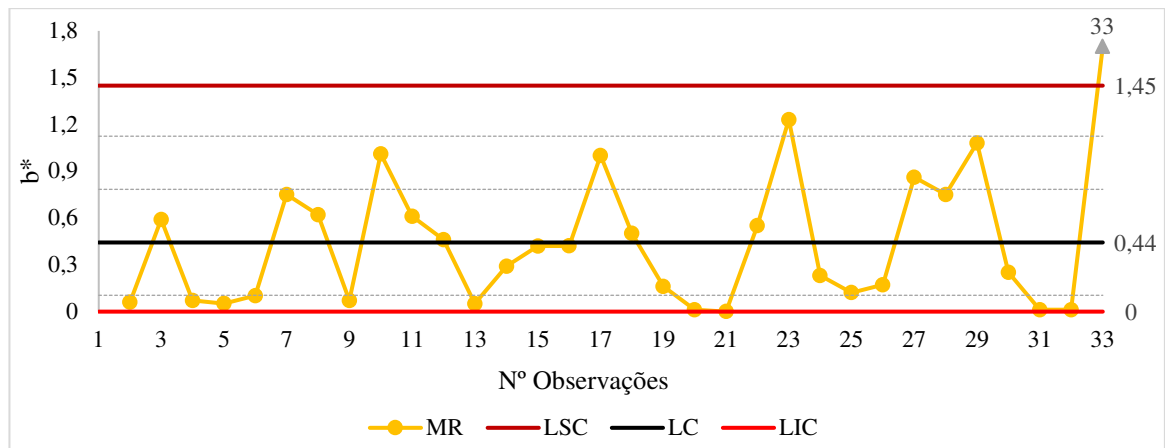


Figura 4.65- Carta MR para o produto C, característica b* (33 pontos).

A figura 4.64 que diz respeito ao estudo da característica b*, apresenta um lote fora dos limites de controlo estatístico estabelecidos. Existe neste caso a evidência de ter havido uma causa anormal a atuar no processo, que pode ter sido pela contaminação do produto anteriormente feito. A observação nº 29, que diz respeito a um lote tecnicamente fora de controlo, confirma a necessidade de ter ocorrido uma correção como forma de corrigir a causa anormal de variação.

A figura 4.65 que representa a característica b*, deteta uma causa anormal a ocorrer no processo, observação 33. Uma vez que a carta MR é determinada da diferença com o dado anterior, verifica-se a observação anterior correspondia a um lote tecnicamente fora de controlo que influenciou o anterior.

Neste produto, tanto a característica a* como a b* apresentam inúmeras oscilações. A característica a* apresenta valores de Δa que oscilam entre -0,73 e 0,3 tendo uma média de 72% lotes mais verdes (eventual perda de pigmento vermelho) e 28% mais vermelhos. A característica b* apresenta lotes com valores de Δb a oscilarem entre -0,43 e 1,7, com uma média de 24% de lotes mais azuis e 76% lotes mais amarelos. Como este produto é constituído por pigmentos inorgânicos (castanho, laranja e vermelho) que por natureza têm menor poder de cobertura e dificuldade em dispersar, o que em muitos casos origina alterações de cor no produto produzido. Neste caso pode explicar as alterações detetadas nos lotes produzidos.

De modo a calcular os limites de controlo do processo sob controlo estatístico, eliminaram-se as observações correspondentes a causas anormais a atuar no processo, e construíram-se novas cartas de controlo com os respetivos limites. Os dados e as cartas efetuadas encontram-se apresentadas no anexo II (Figura II.45 a figura II.54).

As restantes 17 observações foram utilizadas para elaborar as cartas de controlo representadas nas figuras 4.66, 4.68 e 4.70 (cartas de valores individuais, X) e nas figuras 4.67, 4.69 e 4.71 (cartas de controlo das amplitudes móveis, MR).

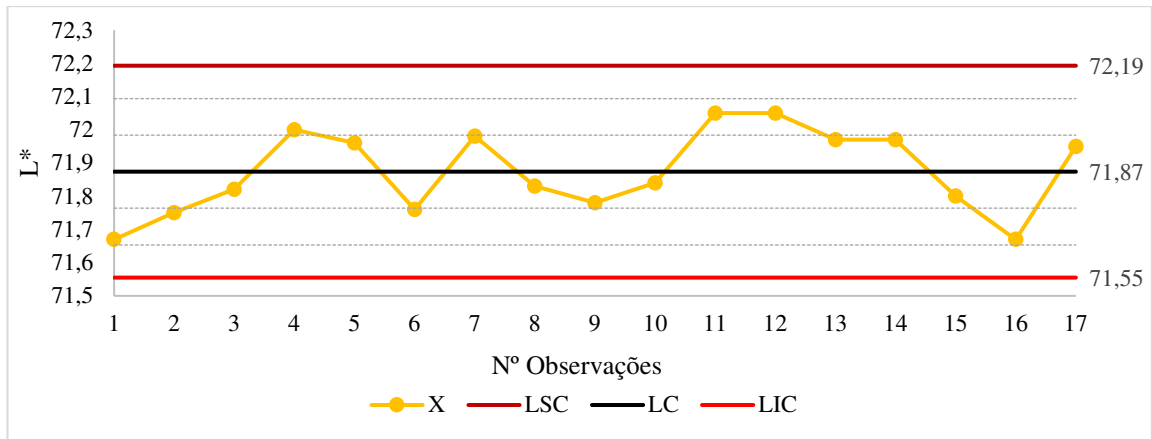


Figura 4.66- Carta X para o produto C, característica L* (17 pontos).

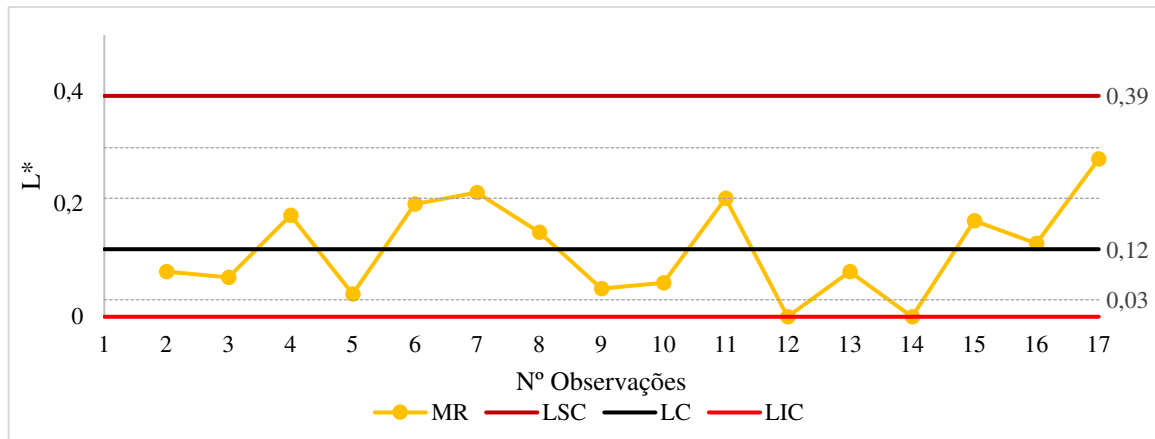


Figura 4.67- Carta MR para o produto C, característica L* (17 pontos).

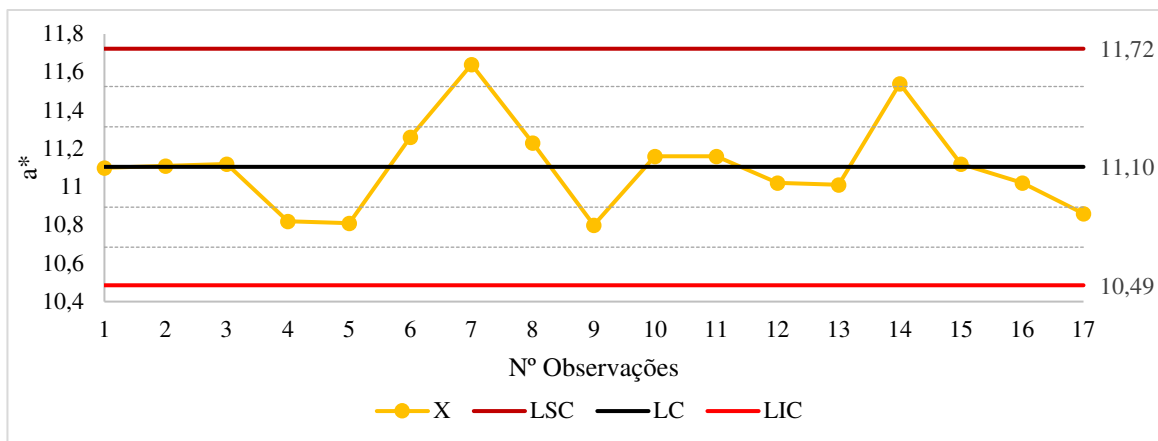


Figura 4.68- Carta X para o produto C, característica a* (17 pontos).

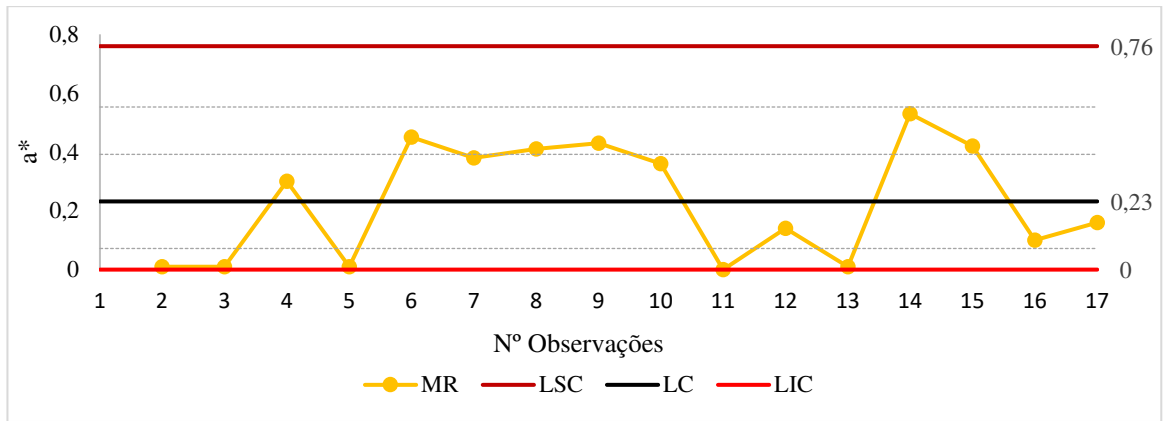


Figura 4.69- Carta MR para o produto C, característica a* (17 pontos).

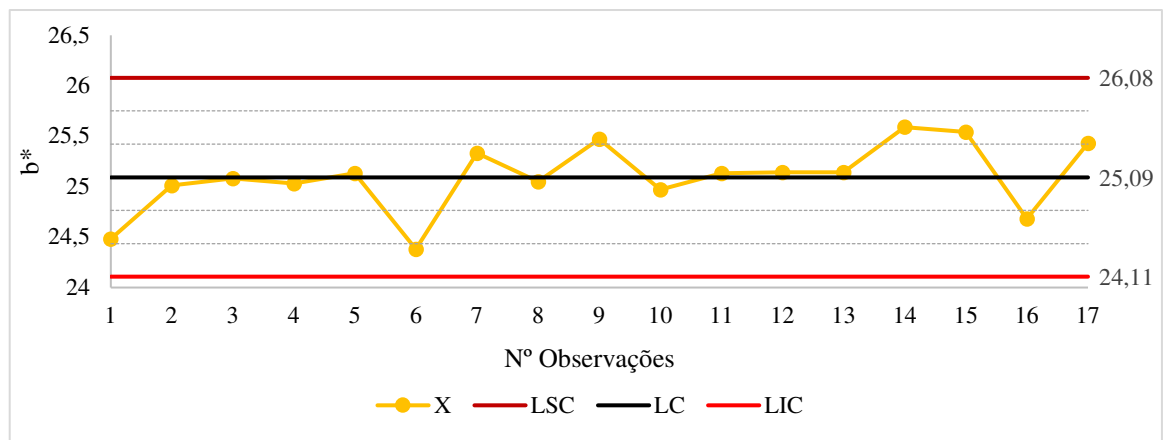


Figura 4.70- Carta X para o produto C, característica b* (17 pontos).

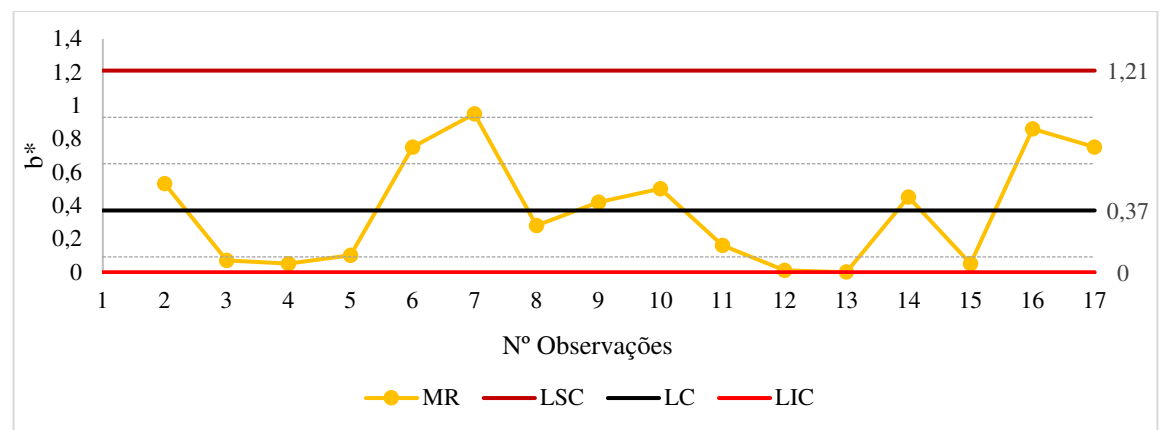


Figura 4.71- Carta MR para o produto C, característica b* (17 pontos).

Verificou-se a inexistência de pontos fora dos limites de controle, o que permite concluir que o processo está controlado. Uma vez que o processo está controlado, retiraram-se os parâmetros, média e desvio padrão para posteriormente analisar a capacidade do processo.

Normalidade da distribuição dos dados

Após serem retirados os pontos fora de controle, voltou-se a elaborar as cartas e verificou-se que não existiam dados fora dos limites de controle. Desta forma realizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov como forma de averiguar a distribuição dos dados. O valor de D é retirado do anexo III (figura III.2).

Tabela 4.11- Parâmetros obtidos para o teste de Kolmogorov-Smirnov para o produto C.

Característica	L*	a*	b*
n	17	17	17
α	5%	5%	5%
$D_{Crítico}$	0,206	0,206	0,206
D	0,1992	0,1708	0,1823
Conclusão	D < Dcrítico - Segue uma distribuição normal	D < Dcrítico - Segue uma distribuição normal	D < Dcrítico - Segue uma distribuição normal

Com base nos valores obtidos na tabela 4.11 pela aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov verifica-se que para o produto C as características L^* , a^* e b^* cumprem a condição $D < D_{crítico}$. Desta forma a conclusão retirada anteriormente é validada, isto é, os dados seguem uma distribuição normal para um nível de significância α de 5%.

A determinação da normalidade do processo é muito importante para a determinação da capacidade do processo produzir de acordo com as especificações definidas.

Análise da capacidade do processo de fabrico

Uma vez que os dados a analisar seguem uma distribuição normal, a capacidade de o processo cumprir especificações foi analisada com base nos índices de capacidade.

A capacidade de o processo produtivo cumprir as especificações do cliente é também analisada qualitativamente através da representação gráfica, onde se compara os limites de controle com as especificações do cliente.

Cálculo dos índices de capacidade do processo

Para a determinação dos limites de controle e respetivos parâmetros, média e desvio padrão, foi necessário retirar todos os pontos fora de controle para que a variação refletisse a variabilidade normal do processo. Os parâmetros obtidos para o processo controlado estão indicados na tabela 4.12.

Tabela 4.12- Parâmetros obtidos a partir do processo em controle para o produto C.

Características	L*	a*	b*
Média	71,87	11,10	25,09
Desvio padrão	0,11	0,21	0,33

Na tabela 4.13 estão indicados os valores da capacidade do processo obtidos.

Tabela 4.13- Índices de capacidade do processo obtidos para as diversas características em estudo, para o produto C.

Características	Cliente A			Cliente B		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
LSE cliente	72,56	11,75	25,21	72,76	11,85	25,61
LIE cliente	71,56	10,95	24,41	71,46	10,85	24,01
$(C_{pk})_S$ cliente	2,091	1,032	0,121	2,70	0,40	0,53
$(C_{pk})_I$ cliente	0,939	0,238	0,687	1,24	1,19	1,09
C_{pk} cliente	0,939	0,238	0,121	1,24	0,40	0,53
Conclusão	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} > 1$	$C_{pk} < 1$	$C_{pk} < 1$

A característica L*, a* e b* para o cliente A apresentam valores baixos de $C_{pk} < 1$, o que demonstra que existe uma maior probabilidade de serem produzidos lotes não conformes, ou seja, o processo não é capaz de cumprir na totalidade com as especificações estabelecidas. Ao nível da característica a* e b* o $C_{pk} < 1$, o que demonstra que existe uma maior probabilidade de serem produzidos lotes não conformes, ou seja, o processo não é capaz de cumprir na totalidade com as especificações estabelecidas. Para a característica L* o valor do $C_{pk} > 1$, o que se concluir que o processo será capaz de produzir segundo as especificações do cliente.

Como os valores do $(C_{pk})_S$ e do $(C_{pk})_I$ são muito diferentes entre si, torna-se importante centrar o processo. Uma das formas de se conseguir essa alteração seria com a alteração da quantidade ou de um dos componentes utilizados na formulação. Seria importante renegociar com o cliente tanto as especificações estabelecidas para aceitação como o padrão aprovado. Nestes casos o processo tenderá a produzir lotes escuros, mais amarelos e mais verdes. O produto C, irá ser sujeito maioritariamente a correções ao nível da característica a* e b*.

Cliente A: As características L* e a* falha ao nível do $(C_{pk})_I$, ou seja, irá existir uma % de lotes não conformes abaixo da linha inferior de especificação. Existirá sempre a produção de lotes mais escuros e mais verdes. A característica b* falha ao nível do $(C_{pk})_I$ e do $(C_{pk})_S$, irá existir uma maior % de lotes não conformes acima da linha superior de especificação e abaixo da linha inferior de especificação, lotes mais amarelos ou mais azuis.

Cliente B: As características a* e b* falham ao nível do $(C_{pk})_S$, ou seja, irá existir uma % de lotes não conformes acima da linha superior de especificação. Existirá sempre a produção de lotes mais vermelhos e mais amarelos. A característica L* será capaz de produzir de acordo com as especificações do cliente.

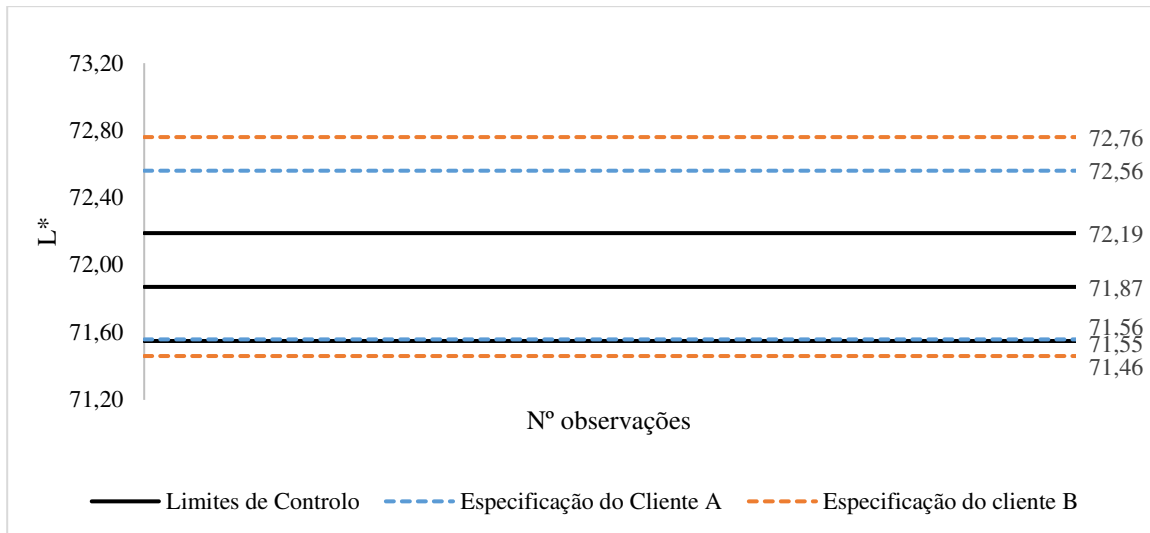


Figura 4.72- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica L*.

A variabilidade natural do processo é inferior às especificações dos clientes A e B (Figura 4.72). Verifica-se o limite inferior de especificação é ligeiramente superior ao limite inferior de controle, desta forma poderá existir uma pequena % de lotes não conformes, ou seja, mais escuros que o padrão. Ao nível do cliente B, verifica-se que o processo conseguirá cumprir com as especificações definidas.

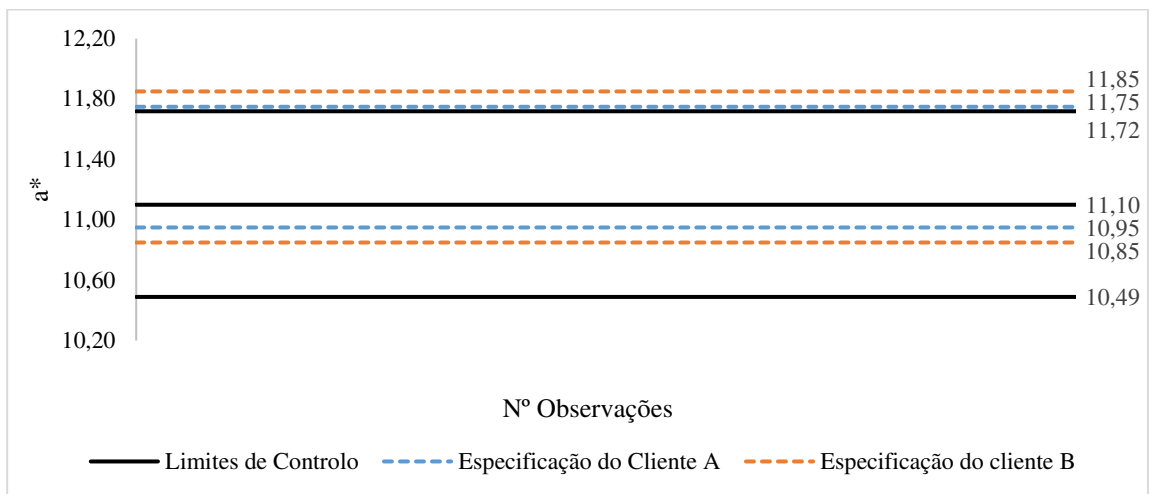


Figura 4.73- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica a*.

Ao nível da característica a* (Figura 4.73), verifica-se que as especificações superiores são maiores que a variabilidade natural do processo enquanto ao nível das especificações inferiores estas são mais apertadas que a variabilidade do processo. Existirá sempre uma grande % de lotes produzidos que estão mais verdes que o padrão. Como forma de diminuir a variabilidade natural do processo sugere-se acordar com o cliente encomendar sempre a mesma quantidade de forma a eliminar a variação das variáveis que provocam estas causas.

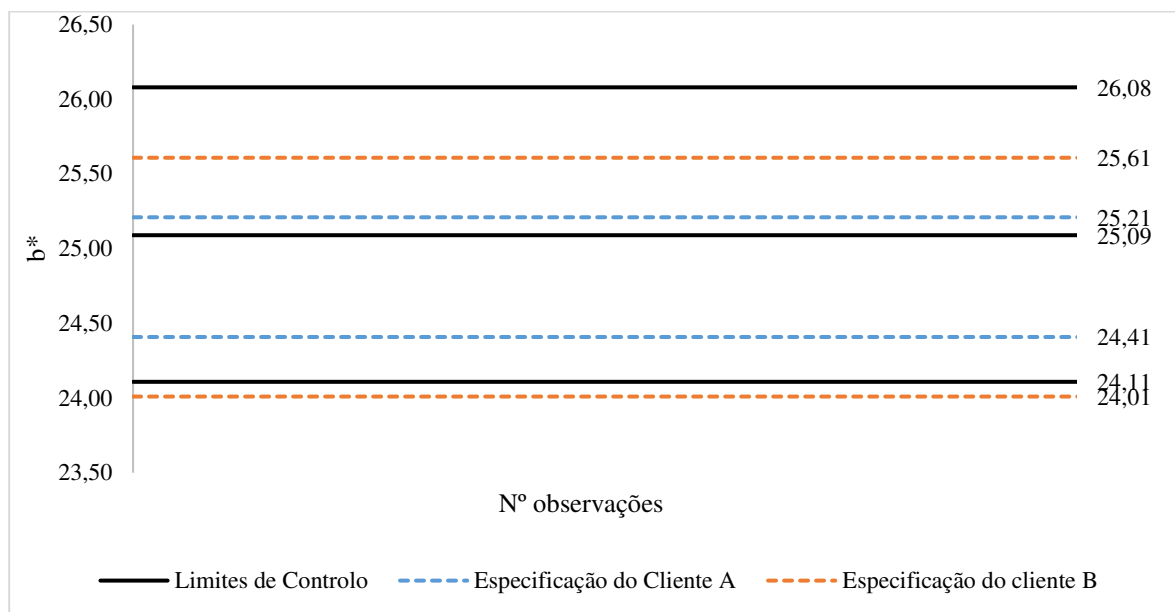


Figura 4.74- Variabilidade normal do processo e limites estabelecidos pelo cliente para o produto C, característica b*.

Ao nível da característica b*, verifica-se (Figura 4.74) que as especificações do cliente A são mais apertadas que a variabilidade natural do processo. Existirá sempre uma % de lotes mais amarelos ou mais azuis que o padrão. Como forma de diminuir a variabilidade natural do processo sugere-se acordar com o cliente encomendar sempre a mesma quantidade de forma a eliminar a variação das variáveis que provocam estas causas. Ao nível das especificações definidas pelo cliente B, verifica-se que a especificação superior é mais apertada que o limite de controlo superior ao invés da especificação inferior. Tendencialmente o processo produzirá lotes mais vermelhos que o padrão.

A média do processo é inferior à especificada, mas, mesmo que a média subisse, a elevada variabilidade do processo conduziria ainda assim a muitos lotes fora da especificação. Para que o processo conseguisse detetar todas as causas anormais era importante que o cliente aumentasse o seu intervalo de aceitação, de forma que a variabilidade do processo fosse menor que o intervalo de especificação que ele define.

Conclui-se que a utilização das cartas de controlo para utilização no futuro por parte dos operadores será uma mais-valia, porque permitirá a deteção de não conformes assim como distinguir as causas normais das causas anormais. A deteção e distinção das causas anormais permite ao operador decidir se vale a pena realizar auditorias ao processo.

Apesar de se concluir que o processo não é capaz de produzir segundo as especificações dos clientes A e B, seria de esperar que a empresa optasse por descontinuar este produto de forma a terminar definitivamente a sua produção. É importante salientar que como se trata de um cliente importante, com muitas compras, solicitações e aprovações de desenvolvimentos, a nível comercial justifica-se igualmente a produção deste mesmo produto. Concluiu-se que o produto C, é um produto sujeito a muitas correções, como tal torna-se necessário contabilizar os custos associados e acrescentar ao preço para o cliente. Com este aumento de preço ao cliente justifica-se a continuidade de produção deste produto. Ao nível da variabilidade natural do processo uma vez que está

diretamente relacionada com a ocorrência de causas especiais, a melhor forma de a reduzir seria através da redução ou eliminação das variáveis que podem provocá-las. Para o processo em estudo verifica-se através do anexo I, que este produto pode ser fabricado em quantidades e máquinas diferentes (misturadora e extrusora), o que vai acrescentar uma maior variabilidade ao processo. Num contexto de produção ideal, seria produzido a mesma quantidade e utilizadas as mesmas máquinas, misturadora e extrusora. Neste produto em específico verifica-se através do anexo I, que este está sujeito à variação de inúmero variáveis, isto é, quantidades produzidas diferentes e consequentemente máquinas diferentes. A eliminação destas variações por parte da gestão da produção iria permitir a redução de lotes não conformes produzidos.

Uma vez que a aplicação final deste produto C, são orlas entende-se a necessidade de especificações apertadas.

Com base nos dados obtidos, concluiu-se ainda que a especificação mais apertada que o processo conseguiria satisfazer para as características em estudo L^* , a^* e b^* seria, L^* : LSE=72,19 e LIE= 71,55; a^* : LSE=11,72 e LIE= 10,49; b^* : LSE=26,08 e LIE=24,11.

Probabilidade de produção de lotes não conformes

A probabilidade de serem produzidos lotes não conformes (acima dos limites de especificação) é determinada através das fórmulas 4.1 e 4.2.

Utilizaram-se os parâmetros definidos na tabela 4.12 assim como a tabela de distribuição normal reduzida presente no anexo III (figura III.3). A tabela 4.14 indica a probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto C, características L^* , a^* e b^* .

Tabela 4.14- Probabilidade de produção de lotes não conformes para o produto C, características em estudo L^* , a^* e b^* .

Característica	L^*	a^*	b^*
$P(X < LIE)$	0,24%	23,89%	1,97%
$P(X > LSE)$	0,001%	0,097%	35,94%

Comparando estes resultados com a % de lotes corrigidos, considerados tecnicamente fora de controlo, temos:

Coordenada L^* : 3% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a L^* é cerca de <1%. Também neste caso, embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá uma percentagem de inferior a 1% de lotes fora de especificação.

Coordenada a^* : 18% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, vimos através dos resultados apresentados na tabela 5.11 que a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a a^* é cerca de 24%. Neste caso, embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá 24% dos lotes fora de especificação.

Coordenada b^* : 36% dos lotes foram corrigidos por causa do valor desta coordenada. Se considerarmos que todas as causas anormais de variação podem ser evitadas, a probabilidade de se produzir lotes não conformes devido a b^* é cerca de 36%. Neste caso, embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá 36% dos lotes fora de especificação.

Após aplicação da fase 1 do controlo estatístico do processo seria aplicada a fase 2, monitorização do processo. Neste trabalho não foi possível realizar a monitorização do processo uma vez que não existiam dados suficientes para aplicação do mesmo.

4.3.4. Aplicação da carta de pré-controlo

Uma vez que não existia dados suficientes para aplicar as cartas de controlo e consequentemente determinar os parâmetros de controlo, optou-se por aplicar as cartas de pré-controlo.

▪ Produto D

O produto D tem uma tonalidade cinzenta, poucos pigmentos na sua formulação e base em copolímero de estireno, SAN. A resina base do produto, SAN, é transparente e tem uma elevada resistência química e ao impacto (Figura 4.75).



Figura 4.75- Produto D.

Na tabela 4.15 estão indicados os limites de especificação definidos pelo cliente para este produto.

Tabela 4.15- Limites de especificação definidos.

Características	L^*	a^*	b^*
LIE	66,87	-1,59	-1,95
LSE	65,37	-1,95	-2,91

A característica L^* é responsável por indicar se o produto está mais escuro ou mais claro quando comparado a um padrão (coordenadas de cor previamente aprovadas pelo cliente). A característica a^* indica se o produto está mais verde ou mais vermelho e a característica b^* se mais azul ou amarelo.

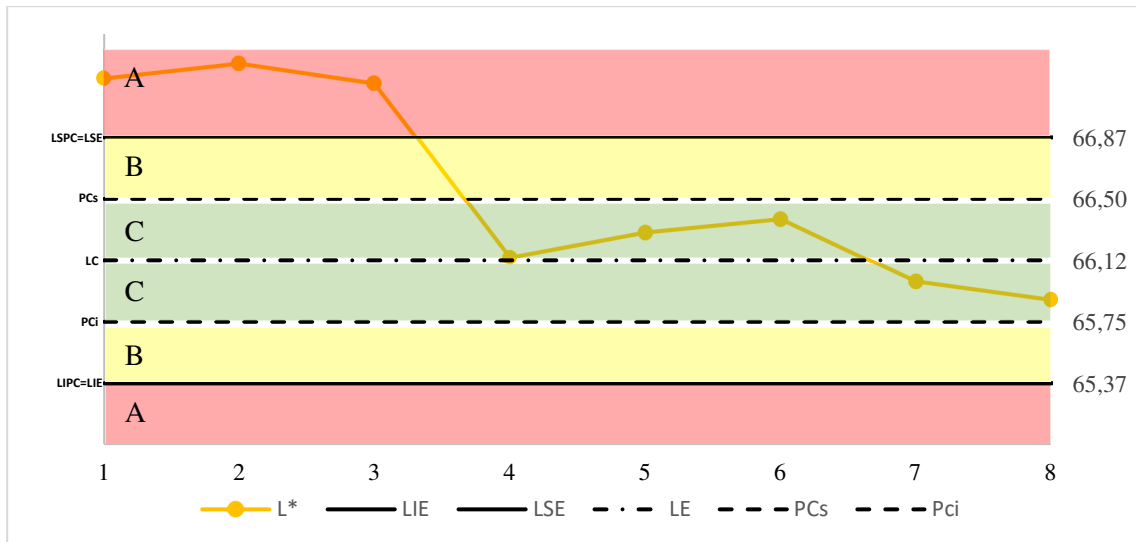


Figura 4.76- Carta de pré-controlo para o produto D, característica L*.

A figura 4.76 que representa a carta de pré-controlo para o produto D, identifica mais do que um ponto na zona vermelha. Com base nas regras anteriormente descritas o processo seria de imediato suspenso e ajustado.

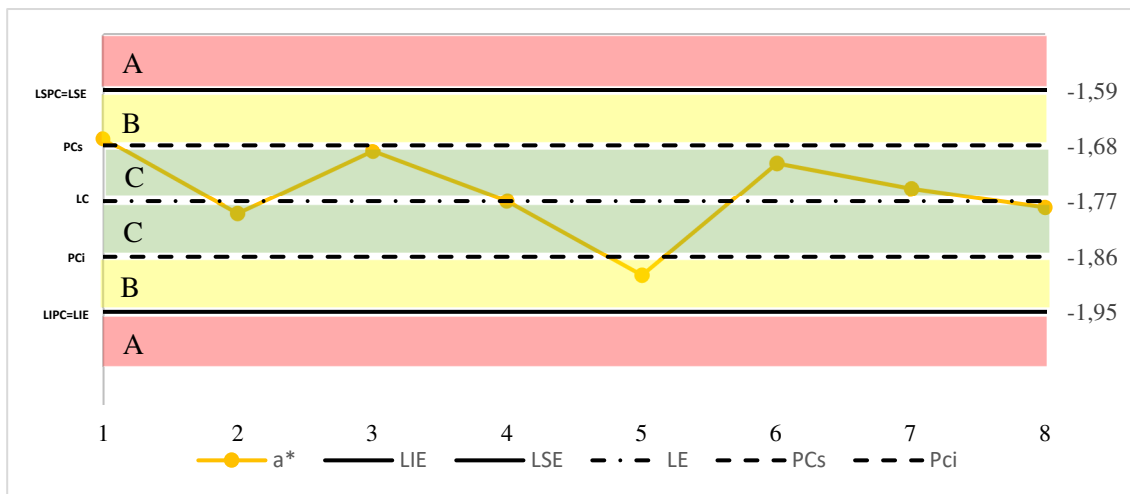


Figura 4.77- Carta de pré-controlo para o produto D, característica a*.

A figura 4.77 identifica um ponto na zona amarela e outro na zona verde consecutivos, com base nas regras indicadas a produção poderia seguir sem necessidade de ajustamento.

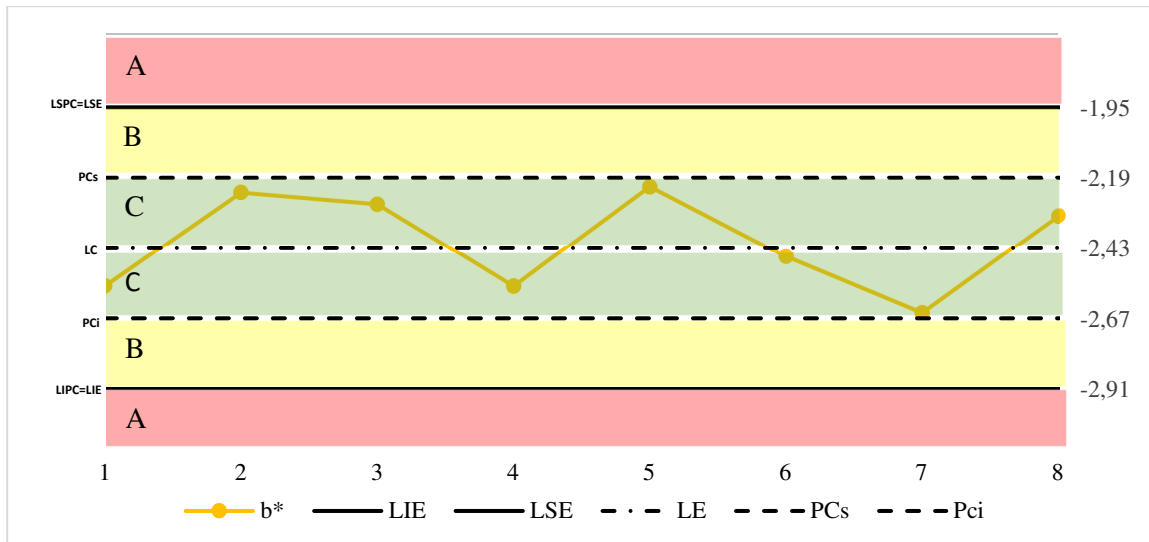


Figura 4.78- Carta de pré-controle para o produto D, característica b*.

A figura 4.78, apresenta cinco pontos consecutivos na zona verde, C, o que segundo as regras estabelecidas indica que não existe necessidade de ajustamento.

Após a elaboração das figuras 4.76 a 4.78 concluiu-se que o processo teria de ser estabilizado relativamente à característica L*. Com o processo estabilizado ao nível das três características em estudo, a produção poderia continuar.

A construção de cartas de pré-controle em produtos com poucos valores, é uma mais-valia para a empresa como forma de verificar se a variabilidade do processo se ajusta às especificações definidas pelo cliente.

5. Conclusões e trabalhos futuros

5.1. Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo utilizar ferramentas da qualidade para melhorar o processo de produção de concentrados de cor em base polimérica – masterbatches (MB). Ao longo do trabalho foi necessário fazer uma pesquisa das ferramentas mais adequadas para aplicar neste processo produtivo.

Numa primeira fase o objetivo foi identificar as causas da ocorrência, durante o processo de fabrico, de produtos com cor diferente da especificada. Através do diagrama de Ishikawa foram identificadas e distinguidas as causas de variação e as causas de erros mais prováveis de ocorrer ao processo.

Exemplos de causas de variação inerentes ao processo de fabrico: Resíduo de componentes do produto que fica retido nos equipamentos, não se consegue que seja sempre igual; Alteração da origem de um componente, pode ter alguma variação associada; Substituição de um componente por semelhante, geralmente tem alguma variação associada.

Exemplos de causas de erro: Erro na pesagem dos componentes; Contaminação do produto nalguma das etapas do processo de fabrico; Erro na referência dos componentes utilizados; Limpeza ineficaz dos equipamentos; Erro nos parâmetros dos equipamentos, como de mistura (tempo e velocidade) e de extrusão (temperatura).

Para o cálculo da frequência de ocorrência de cada uma das causas identificadas, utilizaram-se dados resultantes de auditorias feitas ao processo nos anos de 2013, 2014 e 2020. Através da utilização do diagrama de Pareto, verificou-se que as causas que ocorreram com maior frequência foram a mudança de matérias-primas, a contaminação e o *scale up* industrial (1ª produção).

Foram apontadas algumas sugestões de melhoria. Ao nível de matérias-primas, a empresa tentar manter constante o tipo e origem dos componentes para produtos mais problemáticos. Em termos de contaminação a empresa solicitar aos operadores que tenham uma atenção redobrada quando estão a produzir produtos críticos, como efetuar uma limpeza mais profunda das máquinas e evitar correntes de ar durante a pesagem dos componentes. Apesar de existirem constantemente novas aprovações de produtos verifica-se que a causa de 1º produção diminuiu ao longo do período estudado, o que indica uma maior robustez da etapa de *scale up*,

Foi utilizado o controlo estatístico do processo para analisar a variabilidade do processo produtivo. Utilizaram-se dados relativos a 3 produtos diferentes na sua composição, cor e formulação. Foram utilizadas as cartas de Shewart, mais precisamente as cartas de observações individuais (X) e amplitudes móveis (MR) porque as amostras utilizadas são formadas por uma observação individual e porque os dados utilizados foram suficientes para estimar os parâmetros do processo. Foram utilizadas como variáveis as coordenadas de cor que definem uma cor no sistema CIELab, L*, a* e b*.

Para elucidar o histórico de cada produto, representaram-se graficamente os resultados das medições de cor de todos os lotes produzidos, para cada uma das coordenadas de cor. Identificaram-se todos os lotes corrigidos.

Com a aplicação do controlo estatístico, eliminaram-se os pontos fora de controlo e calcularam-se os limites de controlo.

Foi confirmado que os dados seguem uma distribuição normal através da aplicação do método de Kolmogorov-Smirnov, e analisou-se a capacidade de o processo cumprir com as especificações dos clientes.

Concluiu-se que para o produto A, o $Cp_k < 1$ para as diferentes características em estudo L^* , a^* e b^* , desta forma verifica-se que o processo não é capaz de cumprir com as especificações do cliente A. Por outro lado, verifica-se que para o cliente B o processo apenas não é capaz para as características L^* e b^* ($Cp_k < 1$).

Ao nível do produto B, verifica-se o processo é capaz de cumprir com as especificações uma vez que o valor do $Cp_k > 1$.

Para o produto C, o $Cp_k < 1$ para as diferentes características em estudo L^* , a^* e b^* , desta forma verifica-se que o processo não é capaz de cumprir com as especificações definidas pelo cliente A. Para o cliente B verifica-se que o processo apenas será capaz para a característica L^* ($Cp_k > 1$), para as restantes a^* e b^* o processo não é capaz ($Cp_k < 1$).

Para o produto B, verificou-se que a variabilidade natural do processo é inferior à tolerância admitida pelo cliente, o que demonstra que o processo irá produzir poucos lotes não conformes.

No caso dos produtos A e C concluiu-se que grande parte dos lotes que se encontravam tecnicamente fora de controlo se deviam às especificações do cliente serem mais apertadas que a variabilidade natural do processo e não por ocorrência de causas anormais. Considera-se que estas causas de variação correspondem a causas normais de variação (quantidades produzidas e máquinas, misturadora e extrusora utilizadas diferentes).

Como se verifica que tanto para o produto A como para o produto C os valores do $(C_{pk})_S$ e do $(C_{pk})_I$ são muito diferentes entre si, torna-se importante centrar o processo. Uma das formas de se conseguir essa alteração seria com a alteração da quantidade dos componentes utilizados na formulação.

Determinou-se também a percentagem de lotes não conformes que o processo tenderá a produzir com o processo controlado.

Produto A: A coordenada com maior probabilidade de originar não conformidades foi a b^* . Embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá 36% dos lotes fora de especificação que estarão mais amarelos que o padrão.

Produto B: neste caso como estava apenas definido o limite inferior de especificação, verificou-se que a probabilidade de produzir lotes não conformes após a eliminação de todas as causas anormais de variação é $< 0,1\%$.

Produto C: neste produto a característica com maior probabilidade de produzir lotes não conformes após terem sido eliminadas todas as causas de variação anormal é a b^* . Embora a eliminação das causas anormais de variação faça baixar a taxa de rejeição dos lotes, mesmo com o processo estatisticamente sob controlo haverá 36% dos lotes fora de especificação.

Sugere-se como forma de eliminar as causas anormais de variação sensibilizar os operadores para a necessidade de maior cuidado na produção de produtos considerados mais críticos e com um elevado número de lotes

corrigidos. Podem ser realizadas mais ações de formação e de sensibilização onde sejam mostrados aos operados a % de lotes não conformes que resultam de erros que ocorrem no processo. Ao nível do que apenas está tecnicamente fora de controlo sugere-se manter sempre a mesma quantidade e consequentemente a mesma misturadora e a mesma extrusora. Com estas sugestões espera-se que o processo diminua a variabilidade natural do processo e desta forma diminua a existência de lotes corrigidos.

Por último avaliou-se de que forma as cartas de controlo são relevantes para o processo no futuro.

Concluiu-se que as cartas de controlo obtidas com os parâmetros do processo controlado são uma mais-valia para serem utilizadas no futuro. Estas cartas permitirão ao operador conseguir identificar se a ocorrência de um produto não conforme, desse deve a causas normais ou anormais de variação, e avaliar a necessidade de se realizar uma auditoria ao processo.

Para os anos em que existiram auditorias ao processo verifica-se após o estudo realizado que muitas das causas tratadas como anormais, na realidade poder-se-iam tratar de causas normais de variação ao processo. Esta distinção permite também gerir no futuro a necessidade de serem realizadas auditorias ao processo.

Quando possível deve-se analisar com o cliente a possibilidade de diminuir os intervalos de especificação para desta diminuir a taxa de rejeição dos lotes. É muito importante cumprir com os critérios definidos pelo cliente assim como produzir de acordo com as coordenadas do padrão. O processo deve estar controlado para que a existência de correções seja a menor possível.

No futuro sugere-se estabelecer cartas de controlo tipo para todos os produtos, ou para aqueles que apresentam uma % maior de lotes tecnicamente fora de controlo.

Após conclusão do estudo, verifica-se que a aplicação do controlo estatístico permitirá aumentar o desempenho do processo com a redução de lotes não conformes produzidos. A existência de menos correções, também permitirá à empresa reduzir os custos associados, reduzir o preço final ao cliente e ainda aumentar o lucro.

Para um quarto produto, D, aplicou-se as cartas de pré-controlo uma vez que não existiam dados suficientes para aplicar as cartas de controlo. Verificou-se que estas cartas são uma mais-valia para aplicação em produtos com um número baixo de dados.

5.2. Trabalhos futuros

Na presente dissertação utilizaram-se produtos com um elevado número de lotes produzidos e aplicaram-se as cartas de Shewart. Uma vez que existiam dados suficientes para estimar os parâmetros optou-se por utilizá-las.

Para outros produtos existentes no catálogo da empresa com menor número de lotes, sugere-se para trabalhos futuros a aplicação de cartas short run, mais precisamente cartas Q.

Para produtos mais críticos sugere-se aplicação das cartas de controlo especiais, cartas CUSUM.

Sugere-se ainda o estudo com a aplicação de cartas de controlo multivariado para produtos onde exista mais do que uma especificação definida de controlo, isto é, outros parâmetros: tamanho do grão, densidade, índice de fluidez, cor, entre outros.

6. Referências Bibliográficas

- Abreu, R. D., Requeijo, J. F. G., Abreu, A. J. P. C. F., (2017). *Implementação do controlo estatístico do processo para um número reduzido de dados numa indústria vinícola*, International Congresso n Engineering.
- Almeida, F., Sousa, G., Vaz, D. G., (2019). *Empresas de Fabricação de Embalagens de Plástico*, Gabinete de Estratégia e Estudos do Ministério da Economia
- Antony, J., Gijo, E. V., Kumar, V., and Ghadge, A. (2016). *A multiple case study analysis of Six Sigma practices in Indian manufacturing companies*. International Journal of Quality and Reliability Management
- Bas, E. G. (1990). *Coloracion de materias plasticas*. Centro español de plásticos
- Batchelor, R. (1994). *HENRY FORD Mass Production, Modernism and design*. Manchester University Press.
- Berns R. S., (2000). *Principles of color technology*. (3rd edition). John Wily & Sons, Inc
- Bertonilo, M. T., (2010). *Gerenciamento da Qualidade na Indústria de Alimentos*. São Paulo: Artmed
- Besterfield, D. H., (2014). *Quality Improvement: Pearson New International Edition*. (9th Edition). College of Engineering, Southern University at Carbondale, Besterfield and Associates
- Bueno M., *GESTÃO PELA QUALIDADE TOTAL: UMA ESTRATÉGIA ADMINISTRATIVA*. CEPPG Revista [Consultado no dia 15/12/2020 através do site: <https://www.psicologia.pt/artigos/textos/A0210.pdf>]
- CAMPOS, V. F. (1999). *TQT – Controle da Qualidade Total* Rio de Janeiro: Desenvolvimento Gerencial
- Can, K., A; Kadayifci, C. (2014). *Analyzing critical success factors of total quality management by using fuzzy cognitive mapping*. Journal of Enterprise Information Management
- Charvat, R. A., (2004), *Coloring of Plastics Fundamentals*. (2nd Edition). John Wily & Sons, Inc
- Coradelli, S. F., (2018). *Gestão da qualidade. Evolução histórica e princípios de gestão da qualidade*. ISCTEM
- Costa, T. B. S., Mendes, M. A. (2018). *Análise da causa raiz: Utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura*. X Simprod
- CROSBY. P.B. (1979). *Quality is Free*. New York: New American Library
- DeFeo, J.,isel (2020). *DMAIC Process & Methodology: An Essential Guide*, [Consultado no dia 13/01/2021 através do site: <https://www.juran.com/blog/dmaic-attaining-superior-quality-sustainable-results/>]
- DEMING, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: Center for Advanced Engineering Study, Massachusetts Institute of Technology.
- Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro
- Estragor, *A importância de um sistema de gestão da qualidade*. [Consultado a 5/01/2021 através do site: <https://estrategor.pt/importancia-um-sistema-gestao-da-qualidade/>]
- Evans, J. R., Lindsay, W. M., *Managing for Quality and Performance Excellence*. (9th Edition). South-Western

- FEIGENBAUM, A. V. (1986). *Total Quality Control*. New York: McGraw-Hill
- Fernandes, A., Caseiro N., *Processo de implementação do SQC numa instituição de ensino superior: abordagens e potencialidades*, Instituto Politécnico de Castelo Branco
- Fernandes, A., Lourenço L., Silva M. J., (2012). *Explorando a sinergia entre a Gestão da Qualidade Total e a Inovação*. Revista TQM – Techniques, Methodologies and Quality ISSN: 2182-8083
- Ferreira, J.D., Buosi, V. V. A., Gasparini, V. A. (2016). *A Importância da Qualidade nas Organizações*. UNOPAR Cient., Ciênc. Juríd. Empres., Londrina
- Ferreira, P. C. S., (2015). *Seis sigma aplicado à análise de defeitos na Indústria de Calçado*. Escola Superior de tecnologia de gestão. Instituto Politécnico de Leiria
- Gejdos P., (2015). *Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control*. Business Economics and Management 2015 Conference, BEM2015
- Gomes, F. M. (2012). *Implementação da metodologia LEAN “5S” num posto de trabalho numa empresa metalomecânica*. Instituto Politécnico de Viseu. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- Gomes, J. P. P., (2004). *A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação*. CADERNOSBAD 2. 6-18
- Hamid, S. R., Isa, S., Chew, B. C., Altun, A. (2019). *Quality Management Evolution from the Past to Present: Challenges for Tomorrow*. Sciendo
- Hosken M. J. C., *Produzindo e montando sua qualidade* (2nd edition).
- ICONTEC (2008). *Sistema de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario*. NTC-ISO 9000
- IPQ, NP EN ISO 9000:2015, "Sistemas de Gestão da Qualidade Fundamentos e vocabulário (ISO 9001:2015)"
- ISHIKAWA, K. (1986). *TQC Total Quality Control*. In: MISHIMURA, M. *Estratégia e Administração da Qualidade*. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos
- ISO 9000, *Family Quality Management*. [Consultado a 19/07/2021 através do site: <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>]
- ISO. (2015a). *About ISO* [Adquirido em 2020]
- Johnson, C. N., (2002). *The Benefits of PDCA. Use this cycle for continual process improvement*. ASQ.ORG
- Judi, H. M., Jenal, R., Genasan, D., (2011), *Quality Control Implementation in Manufacturing Companies: Motivating Factors and Challenges*. Intech
- Júnior. D. F. S. J (2014). *Aplicação de Métodos Estatísticos para o Controlo e Melhoria do Processo: Produção de Rolhas Técnicas de Cortiça*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
- JURAN, J. M. (1989). *Juran on Leadership for Quality: An Executive Handbook*. New York: Free Press.
- Juran, J., Godfrey, B., (1998). *Juran's Quality Handbook*. (5th Edition), Mc-Graw Hill

- LIBRARY ASSOCIATION, (1994). *Information quality and liability*. London: Library Association.
- Lopes, A., & Capricho, L. (2007). *Manual da qualidade*. Lisboa: Recursos Humanos Editora.
- Ly, B. C. K., Dyer E. B., Feig J. L., Chien A. L. Bino S., (2020). *Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement*, Journal of Investigative Dermatology
- M. A. G., (2009). *Desenvolvimento e implementação de um sistema de gestão da qualidade*.
- Madanhire, I., Mbohwa, C., (2006). *Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country*, School of Engineering Management, University of Johannesburg, Auckland Park 2006, Johannesburg, 0027, South Africa, ScienceDirect
- Martins M. G., (2009), *Aplicação da análise dos modos de falha e seus efeitos ao processo de reclamações da empresa Alvecabo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Matthews, D. (2011). *The A3 Workbook Unlock your Problem-Solving Mind*. New York: Productivity Press.
- Mattos, A. D. (2010). *Planejamento e controle de obras*.
- Mccreadie, K., (2008). *A Arte da Guerra SUN TZU: uma interpretação em 52 ideias brilhantes: 1*. São Paulo: Globo
- Mello R. M., (2011). *Técnica para inspeção de diagramas de atividades*. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
- Monteiro, A. F. C., (2009). *A avaliação da formação nas empresas: um processo influenciado pela gestão da qualidade* Faculdade de psicologia e de ciências da educação. Universidade do Porto
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th edition.). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Murphy J., (2001). *Additives for Plastics Handbook*, (2nd edition), Elsevier Advanced Technology
- Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N., Hayati, N., (2012). *Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia–Case Study*. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). SciVerse ScienceDirect
- Neto, R. M. S, Galdino, D. D. E, Dantas, S. M., Santos, M.W. L., Neto, J. M. S., (2017). *Aplicação das sete ferramentas da qualidade em uma fábrica de blocos standard de gesso*. XXXVII Encontro nacional de engenharia de produção
- Neves, P. S. M., (2012). *A Implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade. na Junta de Freguesia de Gandra*. Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto. Instituto Politécnico do Porto
- Nezhad, M. S. F., & Niaki, S. T. A. (2010). *A new monitoring design for uni-variate statistical quality control charts*. Information Sciences
- Oakland J. S., (2003). *Statistical Process Control*. Butterworth Heinemann

- Paliska, G., Pavletic, D., Sokovic, M., (2007). *Quality tools – systematic use in process industry*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering
- Pereira, A., *Ferramenta “5 Porquês” Na Causa-Raiz*. [Consultado a 20/04/2021 através do site: <https://leanked.com/blog/ferramenta-5-porques-na-causa-raiz/>]
- Pereira, G. S, Pereira, S. S., (2015). *A importância da qualidade do serviço na gestão hospitalar*. Rev. Eletrôn. Atualiza Saúde
- Pereira, Z. L. & Requeijo, J. G. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos* (2nd edition.). FCT – Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica, Portugal.
- Pinto, J. P. (2008). *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras*. Lidel
- Porter, Michael (1979). *How Competitive Forces Shape Strategy*, Harvard Business Review 57, No. 2
- Pratt, M. K., (2019). *Total Quality Management (TQM)*, [Consultado a 10/01/2021 através do site: <https://searchcio.techtarget.com/definition/Total-Quality-Management>]
- Presentationeze, *The Pre Control Chart*. [Consultado a 13/07/2021 através do site: <https://www.presentationeze.com/presentations/statistical-process-control/pre-control-charts/>]
- Priberam, (2013), *Conceito de Qualidade*. [Consultado a 19/07/2021 através do site: <https://dicionario.priberam.org/qualidade>]
- Pulido G. H., (2014). *Calidad y Productividad*. (3rd Edition). México, McGraw Hill.
- Putri, N. T., Yusof, S. M. (2011). *An empirical investigation of quality tools and techniques practices in Malaysia and Indonesia automotive industries*. Paper presented at the Quality and Reliability (ICQR), IEEE International Conference on.
- Reis C. I. L. A., (2011). *Construção de uma Matriz da Qualidade, baseada no sistema TPM, para a Indústria Alimentar*. Faculdade de Farmácia. Universidade de Lisboa
- Reis, O. M. (2017). *Aplicação do Controlo Estatístico de Processos na Indústria Vidreira*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
- Requeijo, J. G., Abreu, A. (2013). *Aplicação do Desenho de Experiências na Definição de Estratégias Operacionais*. ICEUBI 2013. International Conference on Engineering
- Rodrigues M., (2012). *APLICABILIDADE DAS CARTAS DE CONTROLO AO PROCESSO PRODUTIVO DOS FAROLINS*., Escola Superior de Tecnologia de Setúbal
- Roos, C., Rosa, L. C., (2008). *Ferramenta FMEA: Estudo comparativo entre três métodos de priorização*. XXVIII Encontro nacional de engenharia de produção
- Santos, T. F. F., (2016). *Otimização do processo de produção numa pequena indústria transformadora de resinas acrílicas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

- Sejzer R., As 7 novas ferramentas da qualidade. [Consultado a 13/07/2021 através do site: <https://qualityway.wordpress.com/2017/03/03/as-7-novas-ferramentas-da-qualidade-por-raul-sejzer/>]
- Selvi, K., Majumdar, R., (2014). Six Sigma- Overview of DMAIC and DMADV. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*
- Shingo S. (1996). *O sistema Toyota de produção, do ponto de vista da engenharia de produção.*
- Silva et al., (2018). *Gestão da Qualidade: Conceitos e Perspectivas em Segurança nos Serviços de Saúde Pública.* Semana Acadêmica Revista Científica ISSN 2236 – 6717
- Silva, C. O., Agostino, I. R. S., Sousa, S. R. O., Frota, P. C., Oliveira, R. D. (2017). *A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios.* Revista Espacios
- Souza L., (2017). *Masterbatch – Definition and uses.* [Consultado a 20/04/2021 através do site: <https://www.linkedin.com/pulse/masterbatch-definition-uses-leandro-souza>]
- Soveral, A. S. V. (2018). *Implementação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Argamassas.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
- Strong, A. B. (2006). *Plastics Materials and Processing* (3rd Edition). Person Education, Inc.
- Tjell, J., Sijtsema, P. M. B. (2015). *Visual management in mid-sized construction design projects.* *Procedia Economics and Finance* 21, 193 – 200. ScienceDirect
- Todd, D. B. *Plastics Compounding Equipment and Processing.* Hanser Publisher, Munich
- Torres, A. J. R., Cruz, J. A., Alomoto, N., Chavez, J. L. A., (2015). *Revisión de la literatura sobre gestión de la calidad: caso de las revistas publicadas en Hispanoamérica y España.* Estudios Gerenciales. Universidad ICESI. Colombia
- Venkatesh, J., (2005). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM),* The Plant Maintenance Resource Center
- Western Electric (1956). *Statistical Quality Control Handbook,* Western Electric Corporation, Indianapolis
- Woodall, W. H. (2000). *Controversies and contradictions in statistical process control.* *Journal of Quality Technology*

I. Anexo

Produto A

Tabela I.1- Formulação do produto A.

Componente	Quantidade (%)
Resina base (ABS)	44,77
Pigmento branco	37
Pigmento laranja	9
Pigmento castanho	0,81
Pigmento preto	0,16
Pigmento vermelho	0,06
Pigmento violeta	3,2
Outros aditivos	5

Tabela I.2- Dados relativos ao produto A

Lote	Quantidade (kg)	Extrusora	Misturadora	Corrigida (Fora)
1	1000	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais verde que o padrão)
2	1000	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	11 (600 litros)	Não
3	1000	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	11 (600 litros)	Não
4	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	9 (600 litros)	Sim (mais amarela que o padrão)
5	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	9 (600 litros)	Não
6	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	9 (600 litros)	Sim (mais vermelho e que o padrão)
7	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	9 (600 litros)	Não
8	100	Mono fuso, $\emptyset 60 \times 33D$; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
9	250	Duplo fuso corotativa, $\emptyset 60 \times 33D$; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	8 (75 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
10	500	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	8 (75 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
11	400	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais vermelho que o padrão)

12	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	12 (600 litros)	Sim (mais claro, mais vermelho e mais amarelo que o padrão)
13	1000	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	12 (600 litros)	Não
14	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais vermelho que o padrão)
15	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (75 litros)	Sim (mais claro, mais vermelho e mais amarelo que o padrão)
16	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais vermelho e mais amarelo que o padrão)
17	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais vermelho que o padrão)
18	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Não
19	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais claro que o padrão)
20	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Não
21	600	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais claro e mais vermelho que o padrão)
22	600	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Não
23	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais claro que o padrão)
24	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	10 (600 litros)	Não
25	600	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais claro que o padrão)
26	600	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	10 (600 litros)	Não
27	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
28	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Não
29	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Não
30	1200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	12 (600 litros)	Sim (mais claro e mais azul que o padrão)

31	1200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	12 (600 litros)	Não
32	1200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	12 (600 litros)	Não
33	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
34	1200	Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
35	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
36	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
37	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
38	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
39	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
40	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais claro, mais verde e mais amarelo que o padrão)
41	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
42	1200	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
43	600	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (75 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
44	600	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (75 litros)	Não
45	1200	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	9 (600 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
46	1200	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	9 (600 litros)	Não
47	1200	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	9 (600 litros)	Não
48	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
49	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Não
50	200	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
51	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Não

52	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o padrão)
53	600	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	10 (600 litros)	Não

Tabela I.3- Coordenadas de cor do padrão para o produto A.

L*	a*	b*
73,00	3,56	12,54

Tabela I.4- Dados das observações para as coordenadas L*, a* e b* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb para o produto A.

Lote	L*	a*	b*	ΔL	Δa	Δb
1	73,13	3,27	12,07	0,13	-0,29	-0,47
2	73,00	3,60	12,29	0,00	0,04	-0,25
3	73,10	3,61	12,31	0,10	0,05	-0,23
4	73,27	3,84	13,07	0,27	0,28	0,53
5	72,87	3,60	12,36	-0,13	0,04	-0,18
6	73,66	3,93	12,99	0,66	0,37	0,45
7	73,15	3,77	12,25	0,15	0,21	-0,29
8	73,90	3,86	12,78	0,90	0,30	0,24
9	73,41	3,82	12,67	0,41	0,26	0,13
10	73,49	3,81	12,92	0,49	0,25	0,38
11	72,98	3,97	12,29	-0,02	0,41	-0,25
12	73,59	4,01	12,73	0,59	0,45	0,19
13	73,07	3,77	12,44	0,07	0,21	-0,10
14	73,40	3,88	12,28	0,40	0,32	-0,26
15	73,48	3,94	12,78	0,48	0,38	0,24
16	73,28	3,96	13,24	0,28	0,40	0,70
17	73,04	3,99	13,49	0,04	0,43	0,95
18	73,24	3,76	12,02	0,24	0,20	-0,52
19	73,25	3,76	12,16	0,25	0,20	-0,38
20	73,32	3,74	12,08	0,32	0,18	-0,46
21	73,45	4,02	12,58	0,45	0,46	0,04
22	72,94	3,83	12,30	-0,06	0,27	-0,24
23	73,48	3,47	12,37	0,48	-0,09	-0,17
24	73,38	3,36	12,17	0,38	-0,20	-0,37
25	76,62	3,70	12,02	3,62	0,14	-0,52
26	73,19	3,48	12,05	0,19	-0,08	-0,49
27	73,45	3,56	13,05	0,45	0,00	0,51
28	73,03	3,57	12,31	0,03	0,01	-0,23

29	72,89	3,60	12,35	-0,11	0,04	-0,19
30	73,88	3,36	11,70	0,88	-0,20	-0,84
31	73,28	3,63	12,17	0,28	0,07	-0,37
32	73,30	3,67	12,14	0,30	0,11	-0,40
33	73,54	3,63	13,28	0,54	0,07	0,74
34	72,91	3,52	12,28	-0,09	-0,04	-0,26
35	72,79	3,63	12,39	-0,21	0,07	-0,15
36	72,81	3,66	12,49	-0,19	0,10	-0,05
37	73,12	3,81	12,78	0,12	0,25	0,24
38	72,75	3,34	12,26	-0,25	-0,21	-0,28
39	72,70	3,36	12,27	-0,30	-0,20	-0,27
40	73,55	3,87	13,43	0,55	0,31	0,89
41	72,66	3,43	12,11	-0,34	-0,13	-0,43
42	72,66	3,42	12,11	-0,34	-0,14	-0,43
43	73,55	3,37	14,10	0,55	-0,19	1,55
44	72,7	3,5	12,27	-0,35	-0,06	-0,27
45	73,6	3,37	14,09	0,55	-0,19	1,55
46	73	3,65	12,60	0,00	0,09	0,06
47	72,88	3,66	12,45	-0,12	0,10	-0,09
48	73,32	3,54	13,70	0,32	-0,02	1,16
49	72,80	3,56	12,47	-0,20	0,00	-0,07
50	73,3	3,49	13,93	0,30	-0,07	1,39
51	73,4	3,48	12,6	0,40	-0,08	0,06
52	73,6	3,57	12,79	0,58	0,01	0,25
53	72,9	3,58	12,23	-0,06	0,02	-0,31

Produto B

Tabela I.5- Formulação do produto B.

Componente	Quantidade (%)
Resina base (PSHI)	80
Pigmento branco	8
Pigmento azul	2
Pigmento verde	3
Pigmento preto	0,1
Outros aditivos	5

Tabela I.6- Dados relativos ao produto B.

Lote	Quantidade (kg)	Extrusora	Misturadora	Corrigida (Fora)
1	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
2	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
3	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
4	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
5	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
6	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
7	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
8	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
9	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
10	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
11	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
12	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
13	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Não
14	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais vermelho que o padrão)
15	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
16	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim ($\Delta E > 1$)
17	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim ($\Delta E > 1$)
18	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não

19	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
20	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais claro e mais amarelo que o
21	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
22	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
23	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
24	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
25	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
26	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Lote reclamado por estar mais azul
27	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
28	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais verde que o padrão)
29	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
30	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
31	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
32	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
33	50	3 (Mono fuso, Ø60x33D-R-AL; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Não
34	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Não
35	25	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim (mais escuro que o padrão)
36	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
37	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
38	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não

39	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
40	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim ($\Delta E > 1$)
41	25	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
42	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
43	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
44	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
45	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
46	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
47	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais azul que o padrão)
48	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
49	25	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim (mais azul que o padrão)
50	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
51	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
52	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim (mais azul que o padrão)
53	25	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Não
54	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
55	25	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Não
56	25	3 (Mono fuso, Ø60x33D-R-AL; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Sim (mais azul que o padrão)
57	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim (mais azul que o padrão)
58	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim (mais azul que o padrão)

59	50	2 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	2 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
60	50	3 (Mono fuso, Ø60x33D-R-AL; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Sim ($\Delta E > 1$)
61	50	4 (Mono fuso, Ø60x33D; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	7 (350 litros)	Sim ($\Delta E > 1$)
62	25	3 (Mono fuso, Ø60x33D-R-AL; N° fios = 10; Débito = 125 kg/h	1 (350 litros)	Não

Tabela I.7- Coordenadas de cor do padrão para o produto B.

L*	a*	b*
43,3	-26,05	-12,85

Tabela I.8- Dados das observações para as coordenadas L*, a* e b* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto B.

Lote	L*	a*	b*	ΔL	Δa	Δb	ΔE
1	43,28	-25,83	-12,82	-0,02	0,22	0,03	0,22
2	43,18	-25,59	-12,72	-0,12	0,46	0,13	0,49
3	42,7	-25,41	-12,65	-0,6	0,64	0,2	0,90
4	42,89	-25,83	-11,95	-0,41	0,22	0,9	1,01
5	43,2	-26,43	-12,02	-0,1	-0,38	0,83	0,92
6	43,19	-26,22	-12,32	-0,11	-0,17	0,53	0,57
7	42,97	-25,61	-11,91	-0,33	0,44	0,94	1,09
8	42,84	-25,81	-12,45	-0,46	0,24	0,4	0,66
9	43,27	-26,37	-11,72	-0,03	-0,32	1,13	1,17
10	43,38	-26,47	-11,92	0,08	-0,42	0,93	1,02
11	43,56	-26,12	-12,71	0,26	-0,07	0,14	0,30
12	42,86	-26,01	-11,68	-0,44	0,04	1,17	1,25
13	42,79	-25,73	-12,12	-0,51	0,32	0,73	0,95
14	43,13	-25,67	-12,27	-0,17	0,38	0,58	0,71
15	42,87	-25,88	-11,89	-0,43	0,17	0,96	1,07
16	42,81	-25,12	-12,27	-0,49	0,93	0,58	1,20
17	43,17	-25,68	-12,03	-0,13	0,37	0,82	0,91
18	42,77	-25,66	-11,89	-0,53	0,39	0,96	1,16
19	43,17	-25,67	-12,02	-0,13	0,38	0,83	0,92
20	43,84	-26,41	-12,49	0,54	-0,36	0,36	0,74
21	42,9	-25,64	-12,21	-0,4	0,41	0,64	0,86
22	43,04	-25,89	-12,11	-0,26	0,16	0,74	0,80
23	42,77	-25,31	-11,94	-0,53	0,74	0,91	1,29

24	42,47	-25,33	-11,28	-0,83	0,72	1,57	1,92
25	42,76	-25,46	-12,1	-0,54	0,59	0,75	1,10
26	42,69	-24,21	-13,35	-0,61	1,84	-0,5	2,00
27	42,88	-24,79	-13,41	-0,42	1,26	-0,56	1,44
28	43,01	-26,35	-12,12	-0,29	-0,3	0,73	0,84
29	42,44	-25,52	-12,23	-0,86	0,53	0,62	1,19
30	43,04	-25,65	-11,72	-0,26	0,4	1,13	1,23
31	42,91	-25,4	-11,95	-0,39	0,65	0,9	1,18
32	43,22	-25,87	-11,85	-0,08	0,18	1	1,02
33	42,27	-26,13	-12,77	-1,03	-0,08	0,08	1,04
34	43,27	-25,06	-12,8	-0,03	0,99	0,05	0,99
35	43,28	-26,25	-11,91	-0,02	-0,2	0,94	0,96
36	43,23	-26,1	-12,06	-0,07	-0,05	0,79	0,79
37	42,99	-25,08	-12,8	-0,31	0,97	0,05	1,02
38	43	-25,67	-12,44	-0,3	0,38	0,41	0,63
39	43,06	-25,83	-12,2	-0,24	0,22	0,65	0,73
40	43,66	-27,75	-11,56	0,36	-1,7	1,29	2,16
41	42,92	-26,08	-12,06	-0,38	-0,03	0,79	0,88
42	43,08	-26,08	-12,24	-0,22	-0,03	0,61	0,65
43	43,3	-26,03	-12,37	0	0,02	0,48	0,48
44	42,89	-26,07	-12,41	-0,41	-0,02	0,44	0,60
45	43	-25,96	-12,12	-0,3	0,09	0,73	0,79
46	43,03	-25,6	-12,25	-0,27	0,45	0,6	0,80
47	42,8	-25,24	-13,68	-0,5	0,81	-0,83	1,26
48	43,05	-26,1	-12,24	-0,25	-0,05	0,61	0,66
49	42,1	-26,39	-13,71	-1,2	-0,34	-0,86	1,51
50	43,03	-25,58	-12,83	-0,27	0,47	0,02	0,54
51	43,1	-25,69	-12,47	-0,2	0,36	0,38	0,56
52	42,63	-25,16	-14,29	-0,67	0,89	-1,44	1,82
53	43,5	-26,56	-12,96	0,2	-0,51	-0,11	0,56
54	43,16	-25,86	-12,6	-0,14	0,19	0,25	0,34
55	42,87	-25,57	-12,31	-0,43	0,48	0,54	0,84
56	42,22	-23,84	-14,62	-1,08	2,21	-1,77	3,03
57	42,86	-25,29	-13,67	-0,44	0,76	-0,82	1,20
58	42,98	-24,16	-13,54	-0,32	1,89	-0,69	2,04
59	42,89	-25,68	-12,09	-0,41	0,37	0,76	0,94
60	43,11	-24,74	-13,12	-0,19	1,31	-0,27	1,35
61	42,9	-25,1	-12,7	-0,4	0,95	0,15	1,04
62	43,01	-25,9	-12,23	-0,29	0,15	0,62	0,70

Verificação da normalidade dos dados:

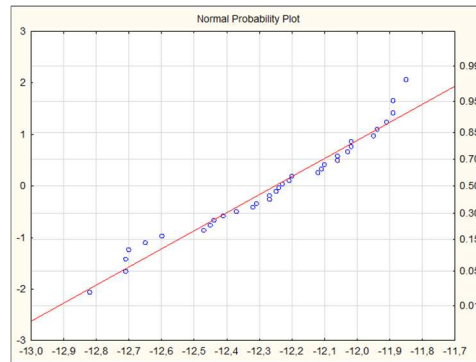


Figura I.1- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica L*.

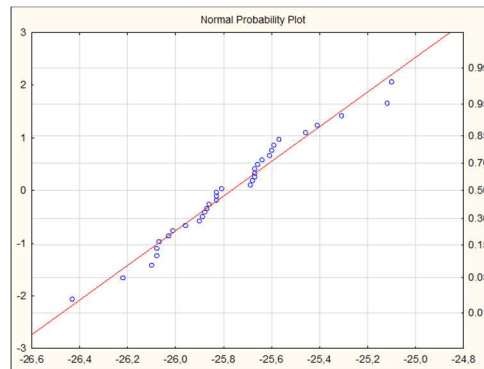


Figura I.2- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica a*.

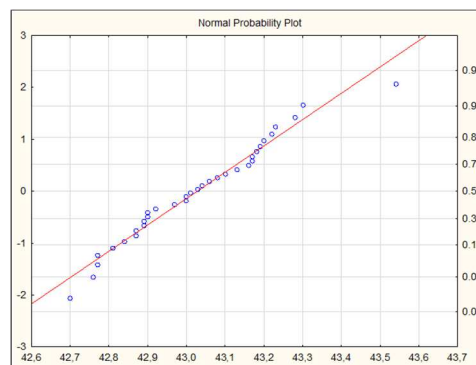


Figura I.3- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto B, característica b*.

Teste Kolmogorov-Smirnov:

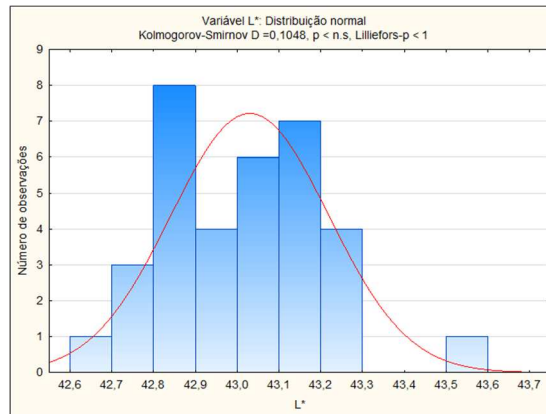


Figura I.4- Histograma para o produto B, característica L*.

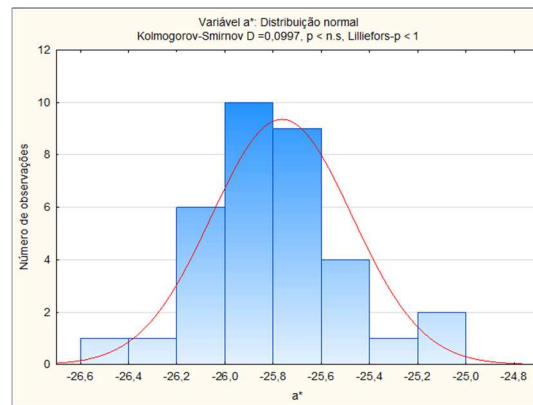


Figura I.5- Histograma para o produto B, característica a*.

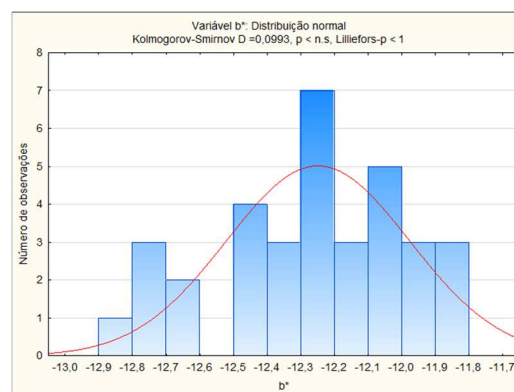


Figura I.6- Histograma para o produto B, característica b*.

Produto C

Tabela I.9- Formulação do produto C.

Componente	Quantidade (%)
Resina base (SAN)	70
Pigmento branco	14
Pigmento laranja	11
Pigmento castanho	0,5
Pigmento vermelho	0,2
Outros aditivos	5

Tabela I.10- Dados relativos ao produto C.

Lote	Quantidade (kg)	Extrusora	Misturadora	Corrigida (Fora)
1	250	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Não
2	250	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Não
3	250	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	9 (600 litros)	Não
4	250	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	9 (600 litros)	Não
5	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	11 (600 litros)	Não
6	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	11 (600 litros)	Não
7	400	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 8; Débito = 250 kg/h	4 (600 litros)	Não
8	500	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	9 (600 litros)	Não
9	400	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 350 kg/h	10 (600 litros)	Não
10	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
11	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	8 (600 litros)	Sim (mais verde e mais amarelo que o padrão)
12	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	8 (600 litros)	Não
13	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_{x_D} ; N° fios = 10; Débito = 200 kg/h	8 (600 litros)	Não

14	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Não
15	300	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	4 (600 litros)	Não
16	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	4 (600 litros)	Sim (mais verde e mais amarelo que o padrão)
17	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	8 (600 litros)	Sim (mais verde que o padrão)
18	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	8 (600 litros)	Não
19	200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (600 litros)	Não
20	200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (600 litros)	Não
21	200	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (600 litros)	Não
22	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (600 litros)	Sim (mais escuro e mais verde que o
23	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	9 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
24	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
25	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
26	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
27	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Não
28	300	11 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 8; Débito = 250 kg/h	8 (600 litros)	Sim (mais verde e mais amarelo que o padrão)
29	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	9 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
30	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	11 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
31	300	9 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 350 kg/h	8 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
32	150	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	10 (600 litros)	Sim (mais amarelo que o padrão)
33	150	12 (Duplo fuso corotativa, \emptyset_x_D ; Nº fios = 10; Débito = 200 kg/h	10 (600 litros)	Não

Tabela I.11- Coordenadas de cor do padrão para o produto C.

L*	a*	b*
72,06	11,35	24,81

Tabela I.12- Dados das observações para as coordenadas L*, a* e b* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto C.

Lote	L*	a*	b*	ΔL	Δa	Δb
1	71,67	11,1	24,48	-0,39	-0,25	-0,33
2	71,5	11,01	24,42	-0,56	-0,34	-0,39
3	71,75	11,11	25,01	-0,31	-0,24	0,2
4	71,82	11,12	25,08	-0,24	-0,23	0,27
5	72	10,82	25,03	-0,06	-0,53	0,22
6	71,96	10,81	25,13	-0,1	-0,54	0,32
7	71,76	11,26	24,38	-0,3	33	-0,43
8	71,8	11,6	25	-0,26	0,25	0,19
9	71,98	11,6	24,93	-0,08	0,25	0,12
10	71,81	11,42	25,94	-0,25	0,07	1,13
11	71,95	11,64	25,33	-0,11	0,29	0,52
12	71,9	11,37	24,87	-0,16	0,02	0,06
13	71,83	11,38	24,92	-0,23	0,03	0,11
14	71,78	11,37	24,63	-0,28	0,02	-0,18
15	71,81	11,23	25,05	-0,25	-0,12	0,24
16	71,84	10,8	25,47	-0,22	-0,55	0,66
17	72,36	10,76	24,47	0,3	-0,59	-0,34
18	72,05	11,16	24,97	-0,01	-0,19	0,16
19	72,05	11,16	25,13	-0,01	-0,19	0,32
20	71,97	11,02	25,14	-0,09	-0,33	0,33
21	71,97	11,01	25,14	-0,09	-0,34	0,33
22	71,47	10,63	24,59	-0,59	-0,72	-0,22
23	72,02	10,99	25,82	-0,04	-0,36	1,01
24	71,8	11,54	25,59	-0,26	0,19	0,78
25	71,67	11,23	25,71	-0,39	-0,12	0,9
26	71,95	11,12	25,54	-0,05	-0,23	0,73
27	72,02	11,02	24,68	-0,04	-0,33	-0,13
28	72,2	10,86	25,43	0,14	-0,49	0,62
29	72,29	11,57	26,51	0,23	0,22	1,7
30	71,97	11,33	26,26	-0,09	-0,02	1,45
31	72,46	11,21	26,25	0,4	-0,14	1,44
32	71,93	10,62	26,24	-0,13	-0,73	1,43
33	71,77	11,27	24,54	-0,29	-0,08	-0,27

Verificação da normalidade dos dados:

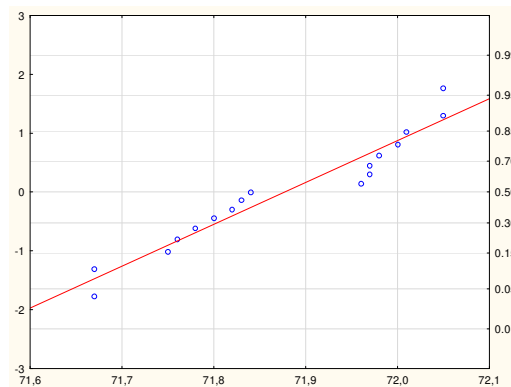


Figura I.7- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica L*.

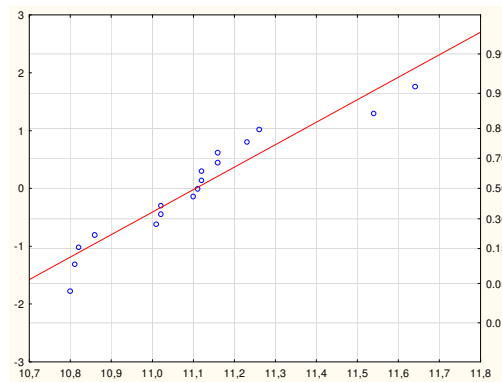


Figura I.8- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica a*.

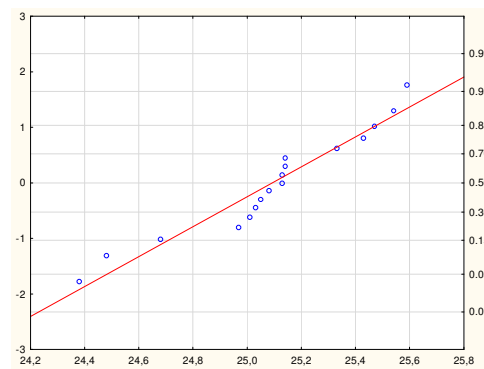


Figura I.9- Gráfico de probabilidade da distribuição normal para o produto C, característica b*.

Teste Kolmogorov-Smirnov:

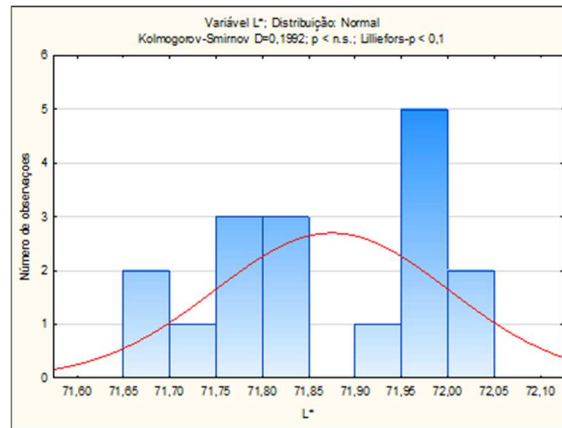


Figura I.10- Histograma para o produto C, característica L*.

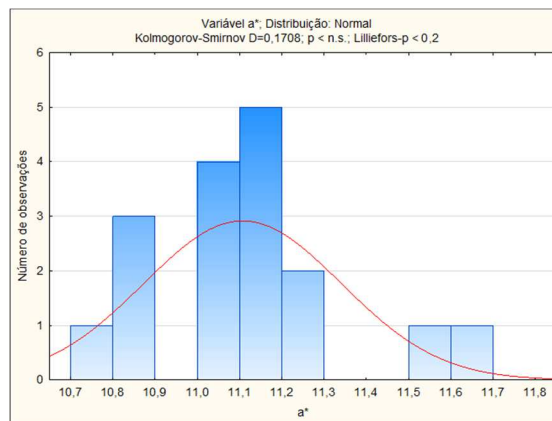


Figura I.11- Histograma para o produto C, característica a*.

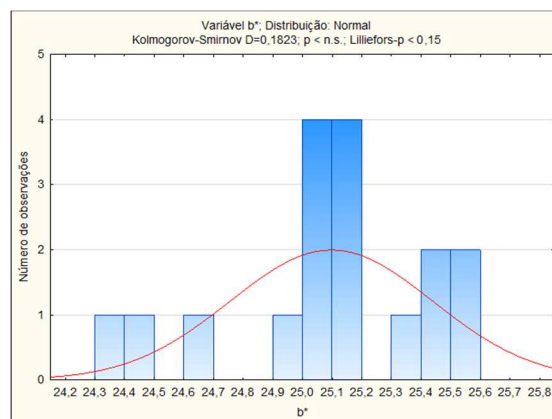


Figura I.12- Histograma para o produto C, característica b*.

Produto D

Tabela I.13- Coordenadas de cor do padrão para o produto D.

L*	a*	b*
67,15	-1,6	-2,66

Tabela I.14- Dados das observações para as coordenadas L*, a* e b* e respectivos valores de ΔL , Δa , Δb , ΔE para o produto D.

Lote	L*	a*	b*	ΔL	Δa	Δb
1	67,23	-1,67	-2,56	0,08	-0,07	0,1
2	67,32	-1,79	-2,24	0,17	-0,19	0,42
3	67,2	-1,69	-2,28	0,05	-0,09	0,38
4	66,14	-1,77	-2,56	-1,01	-0,17	0,1
5	66,29	-1,89	-2,22	-0,86	-0,29	0,44
6	66,37	-1,71	-2,46	-0,78	-0,11	0,2
7	65,99	-1,75	-2,65	-1,16	-0,15	0,01
8	65,88	-1,78	-2,32	-1,27	-0,18	0,34
9	66,3	-1,73	-2,51	-0,85	-0,13	0,15
10	66,34	-1,81	-2,4	-0,81	-0,21	0,26

II. Anexo

Cartas de controlo para determinação dos limites de controlo.

Produto A

Cartas com 41 pontos (12 pontos fora de controlo estatístico):

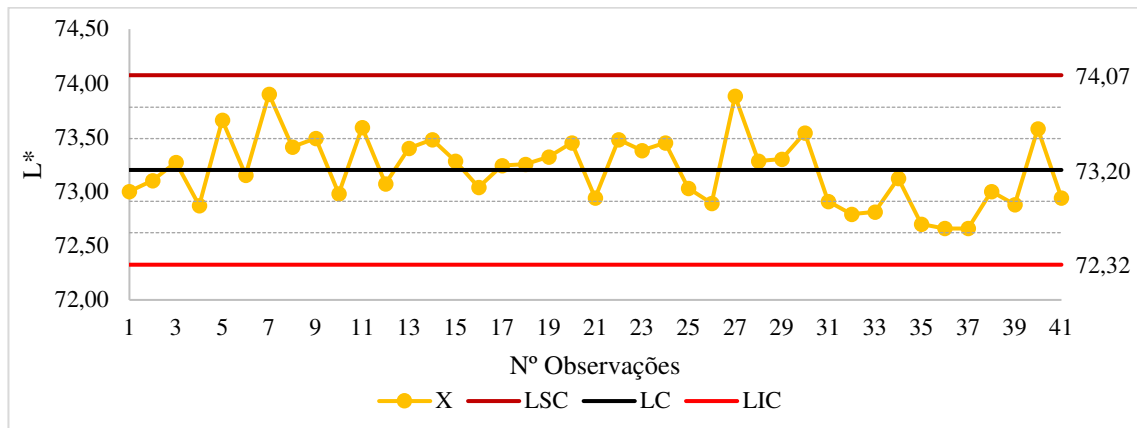


Figura II.1- Carta X para o produto A, característica L* (41 pontos).

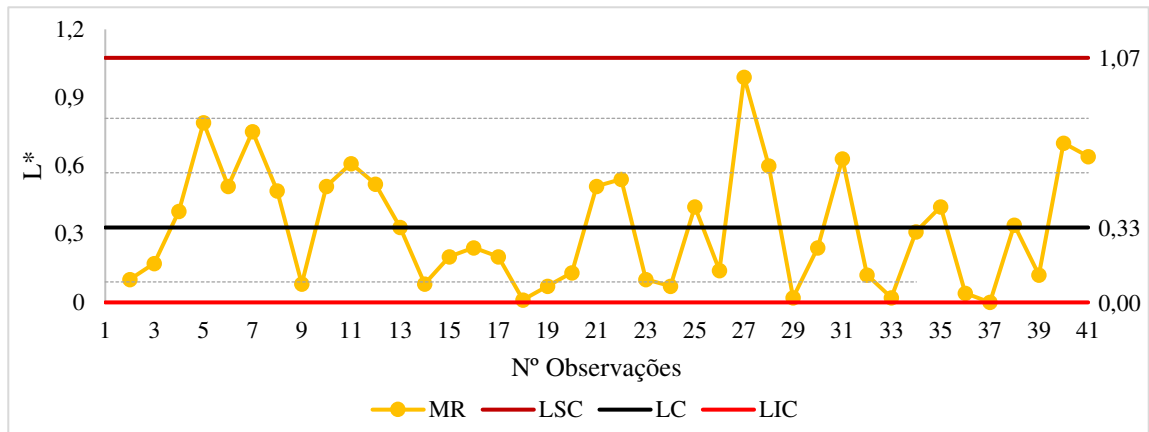


Figura II.2- Carta MR para o produto A, característica L* (41 pontos).

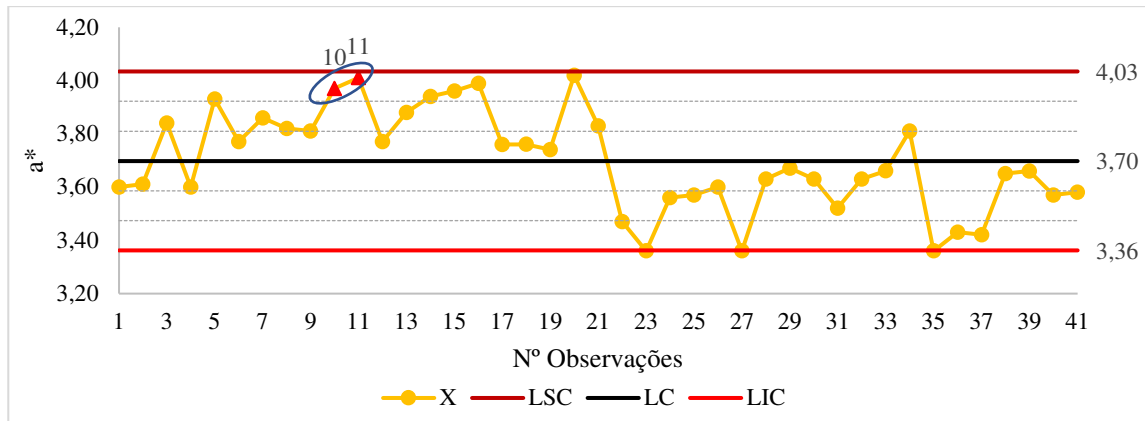


Figura II.3- Carta X para o produto A, característica a^* (41 pontos).

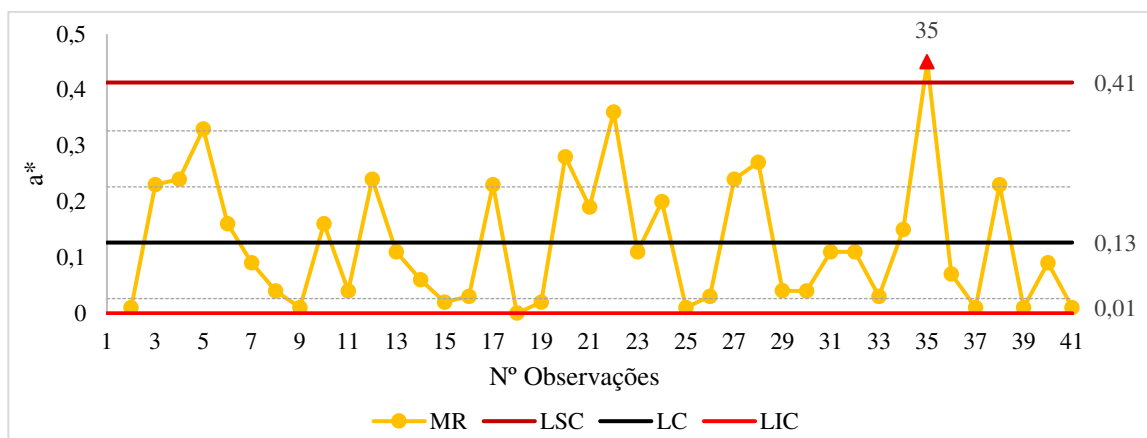


Figura II.4- Carta MR para o produto A, característica a^* (41 pontos).

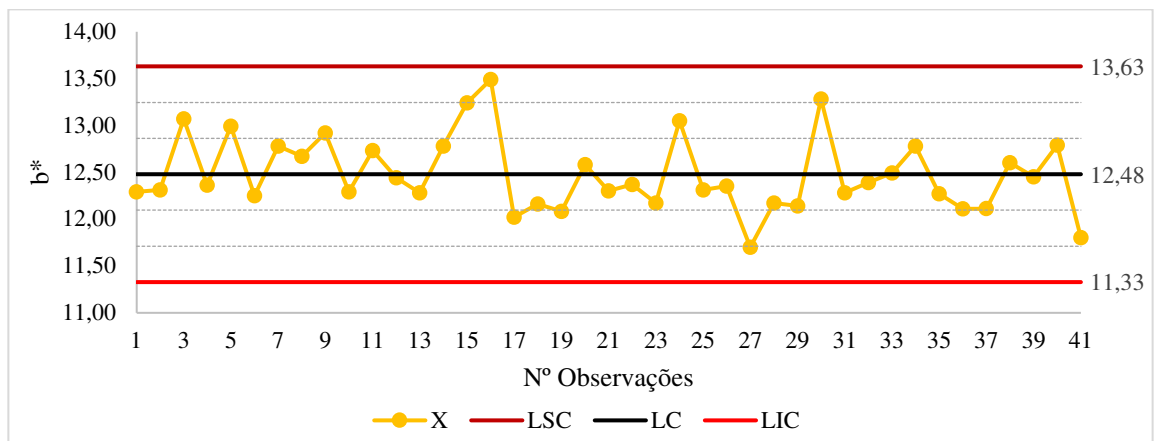


Figura II.5- Carta X para o produto A, característica b^* (41 pontos).

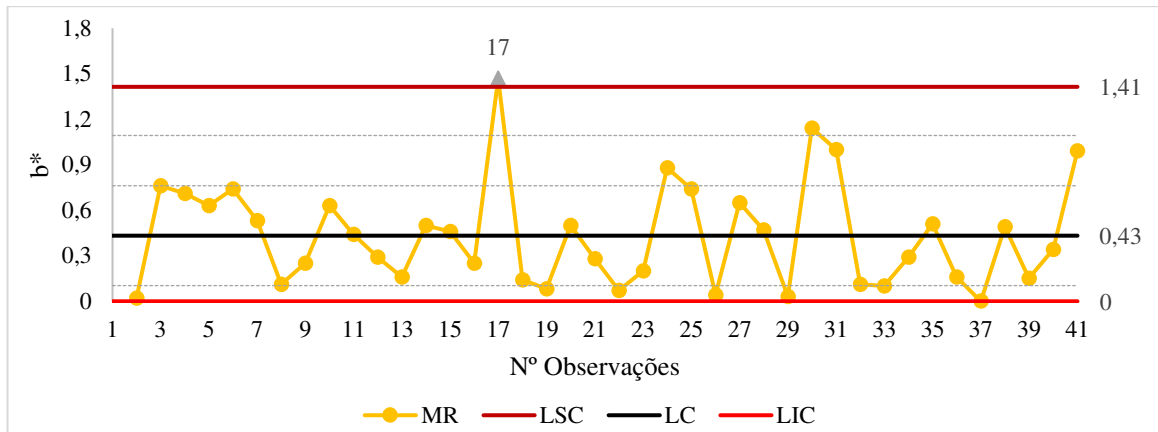


Figura II.6- Carta MR para o produto A, característica b^* (41 pontos).

Cartas com 37 pontos (4 pontos fora de controle estatístico):

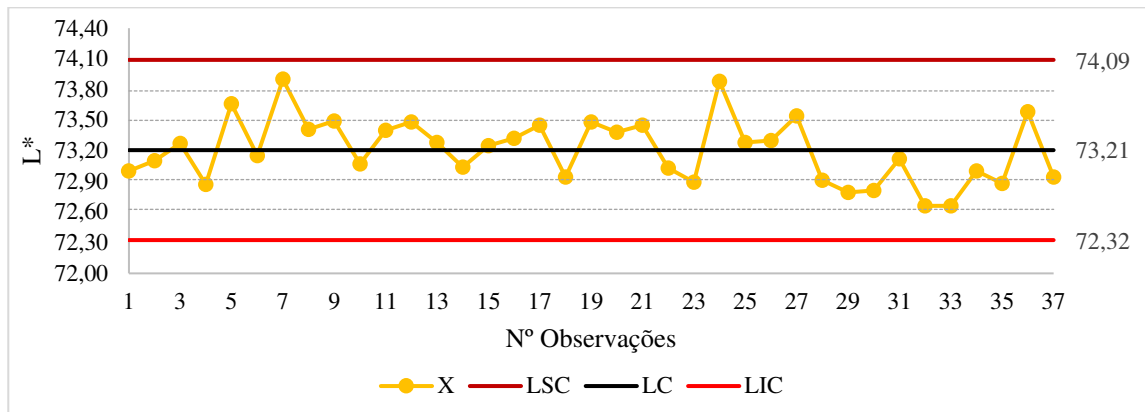


Figura II.7- Carta X para o produto A, característica L^* (37 pontos).

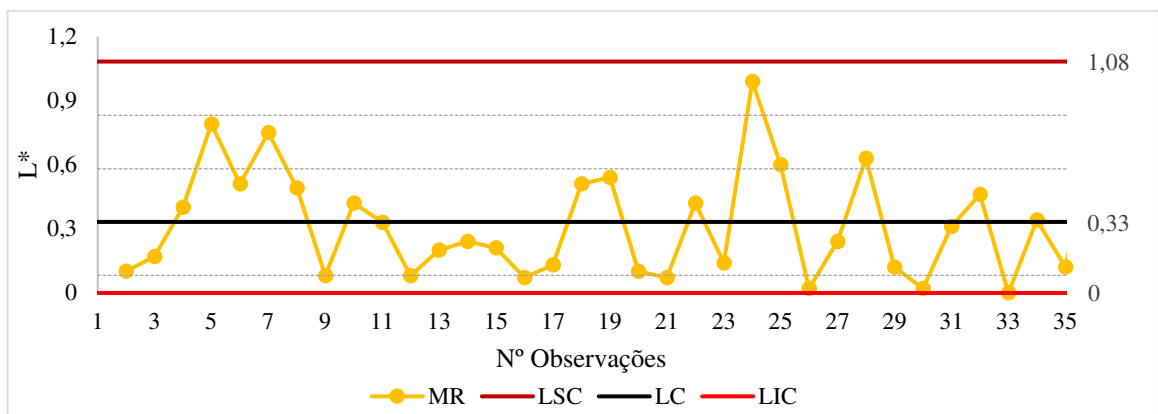


Figura II.8- Carta MR para o produto A, característica L^* (37 pontos).

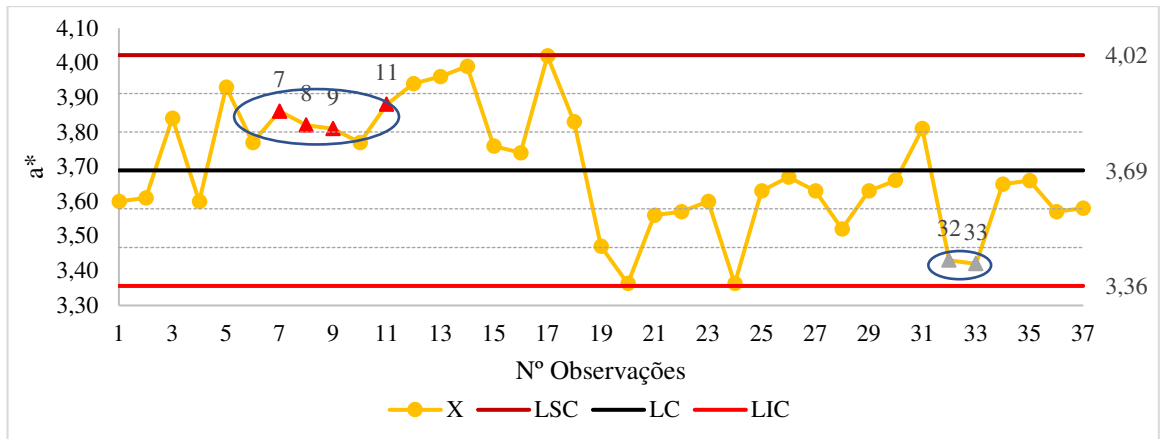


Figura II.9- Carta X para o produto A, característica a* (37 pontos).

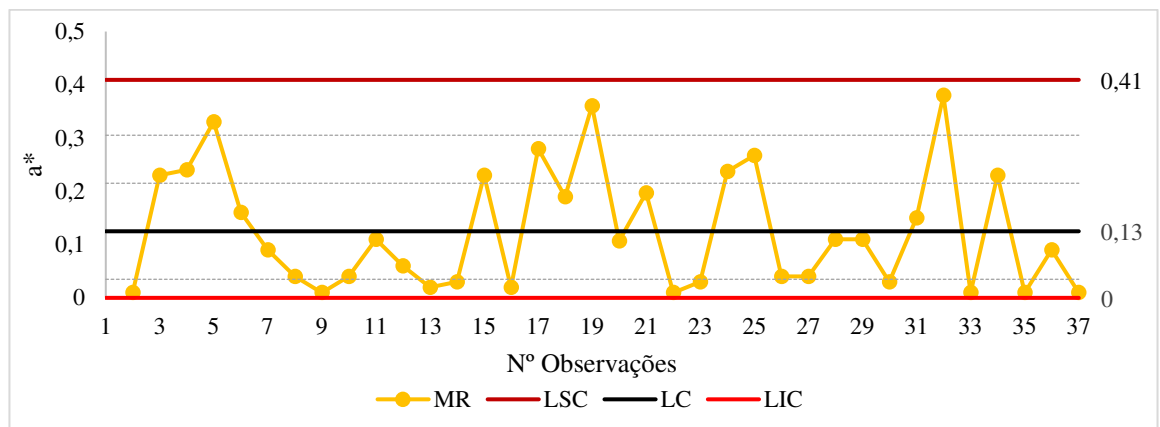


Figura II.10- Carta MR para o produto A, característica a* (37 pontos).

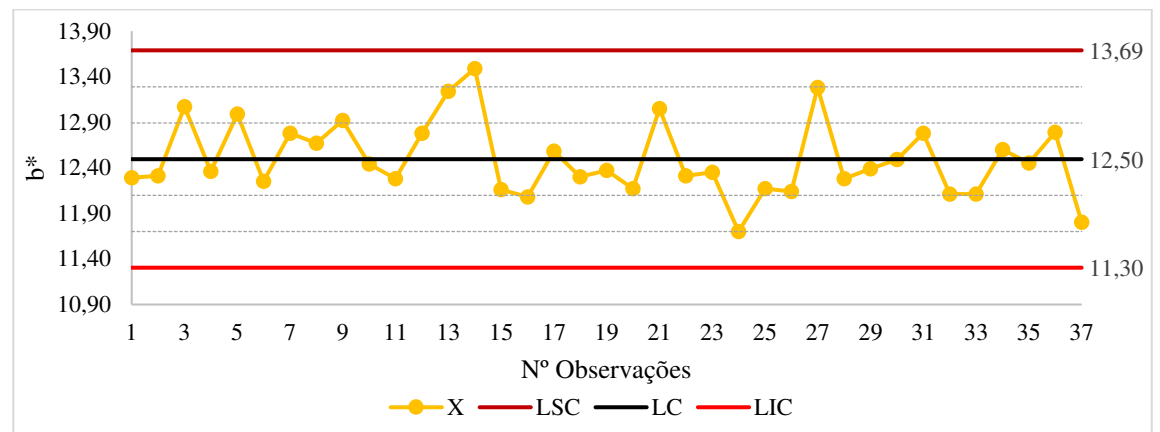


Figura II.11- Carta X para o produto A, característica b* (37 pontos).

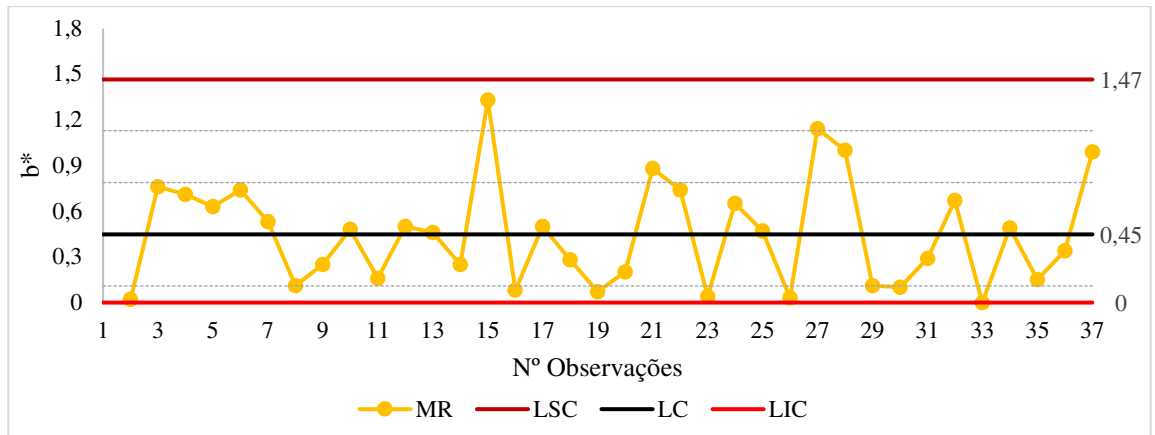


Figura II.12- Carta MR para o produto A, característica b^* (37 pontos).

Produto B

Carta com 58 ponto (5 pontos fora de controlo estatístico):

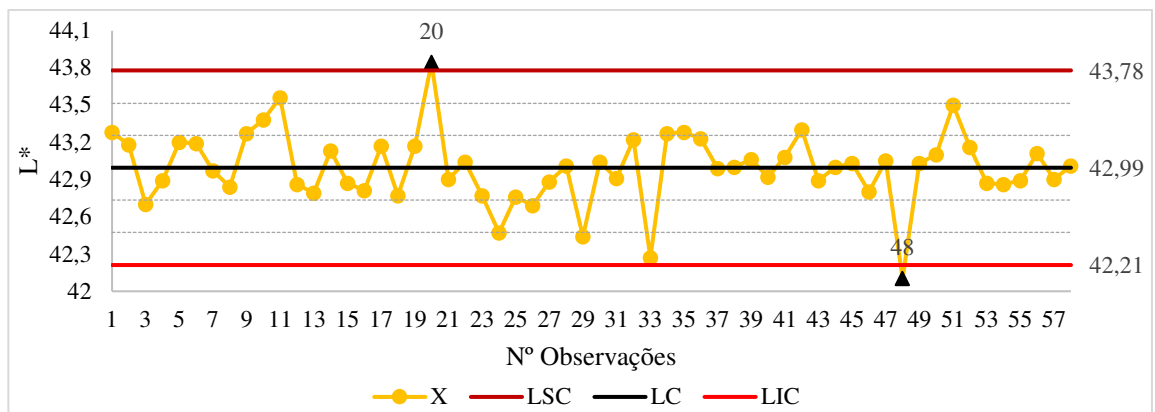


Figura II.13- Carta X para o produto B, característica L^* (58 pontos).

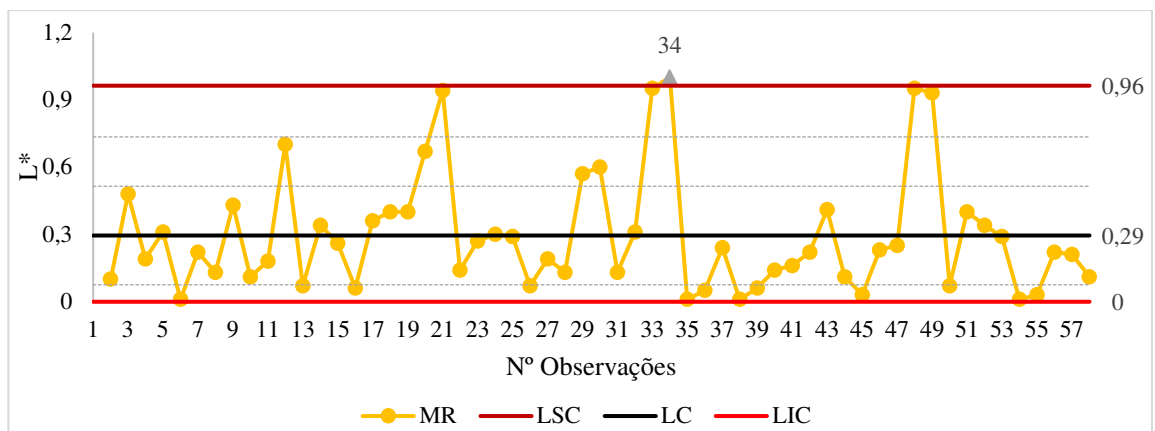


Figura II.14- Carta MR para o produto B, característica L^* (58 pontos).

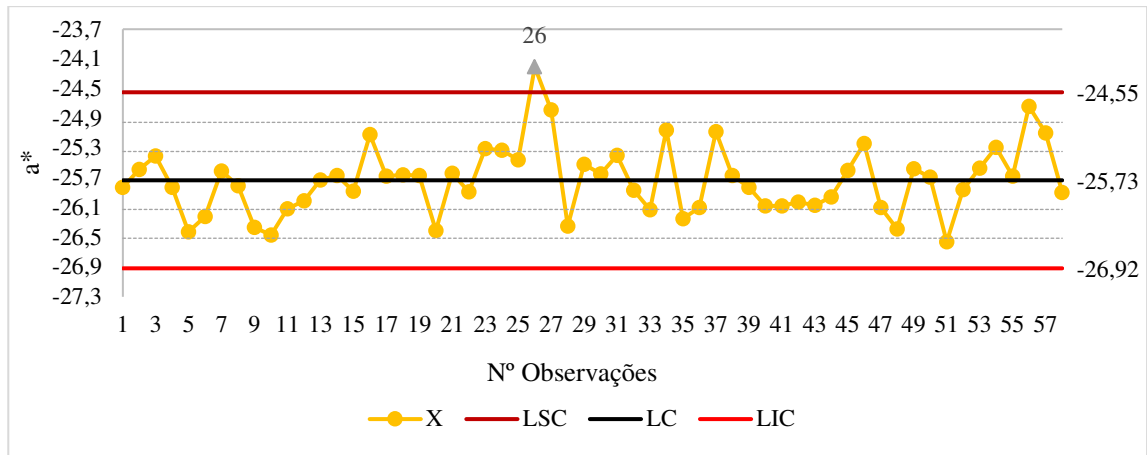


Figura II.15- Carta X para o produto B, característica a^* (58 pontos).

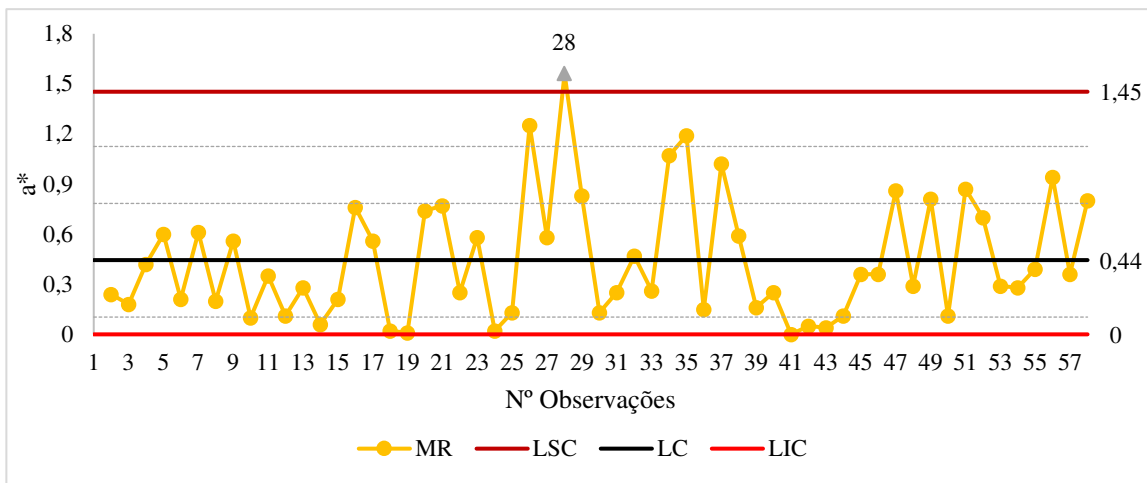


Figura II.16. Carta MR para o produto B, característica a^* (58 pontos).

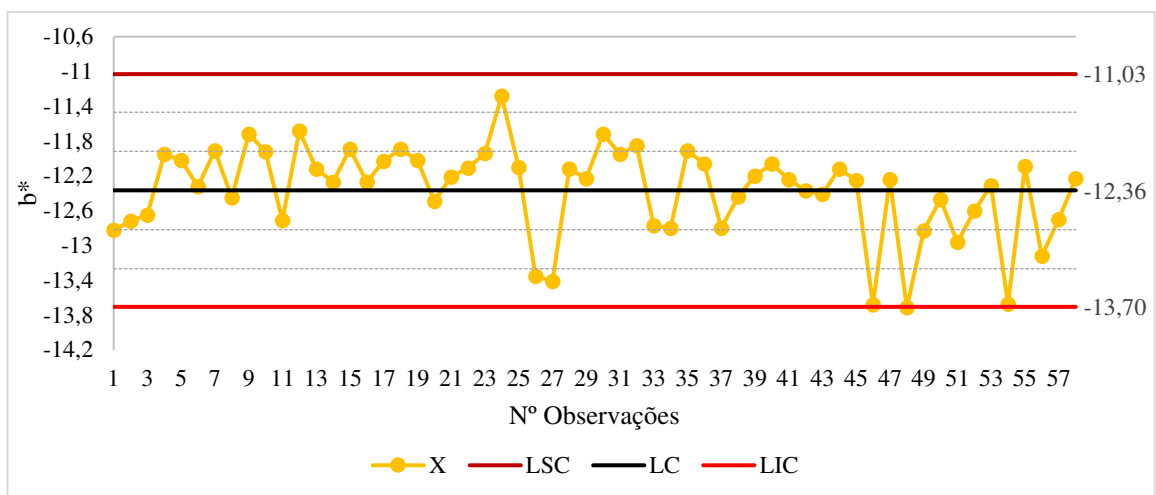


Figura II.17- Carta X para o produto B, característica b^* (58 pontos).

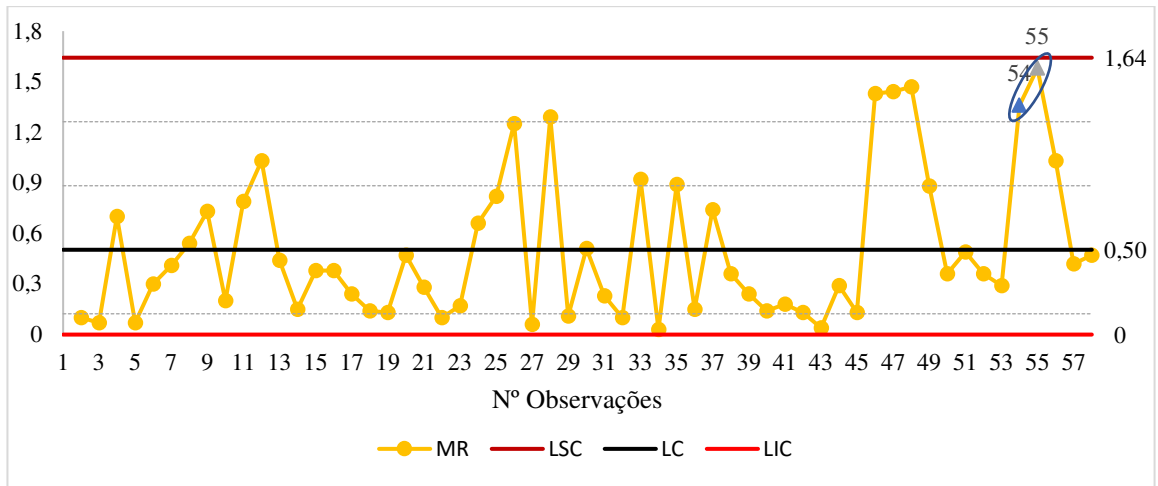


Figura II.18- Carta MR para o produto B, característica b* (58 pontos).

Carta com 49 pontos (9 pontos fora de controle estatístico):

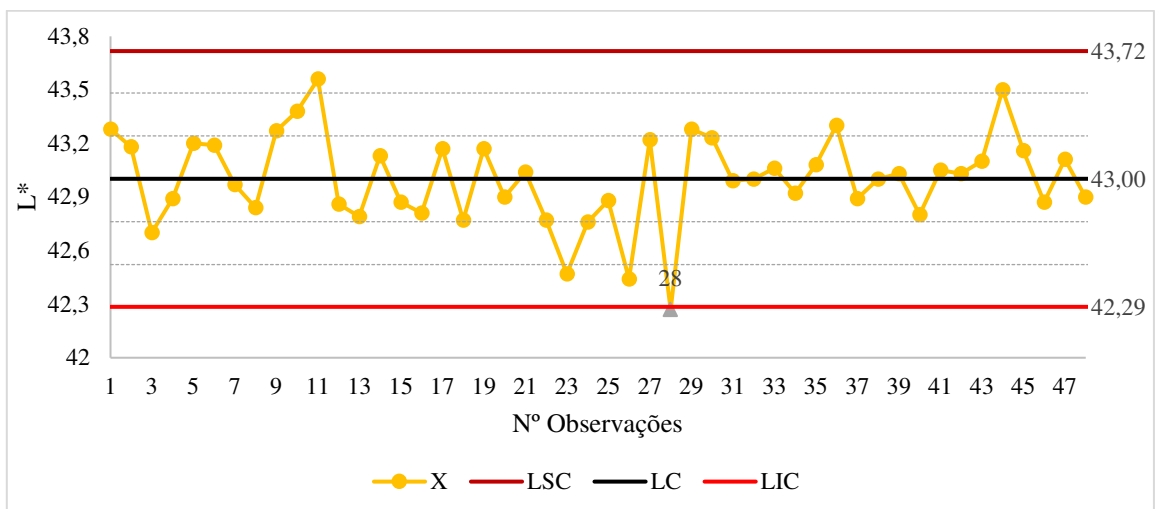


Figura II.19- Carta X para o produto B, característica L* (49 pontos).

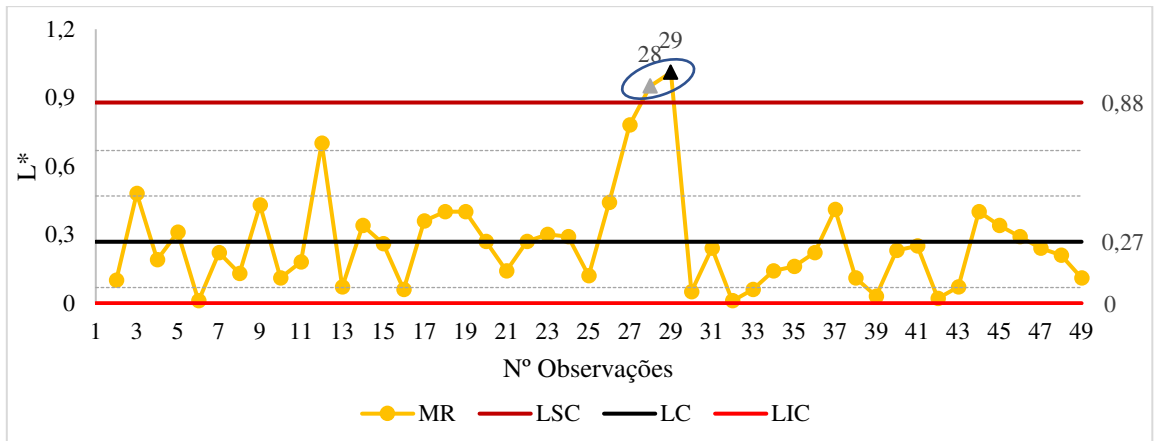


Figura II.20- Carta MR para o produto B, característica L^* (49 pontos).

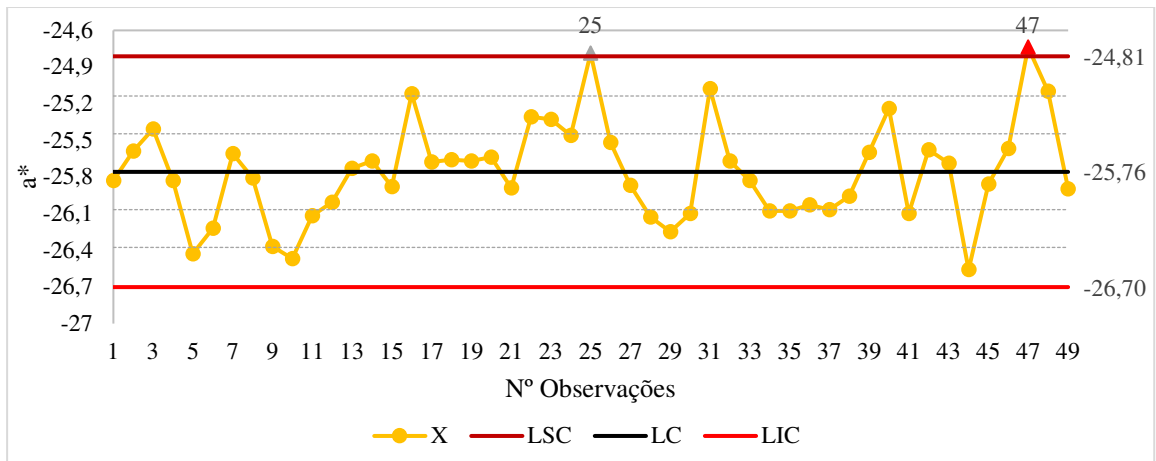


Figura II.21- Carta X para o produto B, característica a^* (49 pontos).

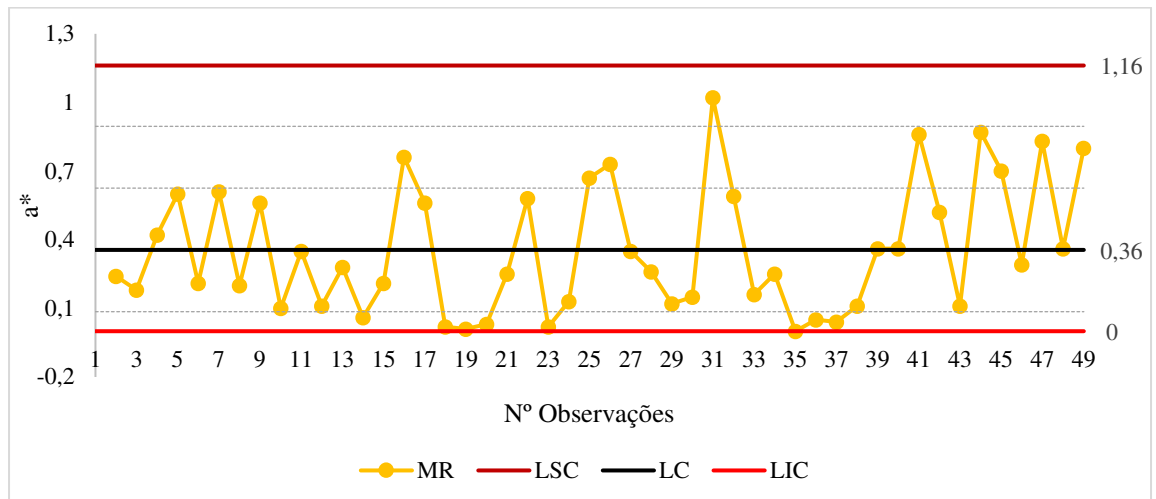


Figura II.22- Carta MR para o produto B, característica a^* (49 pontos).

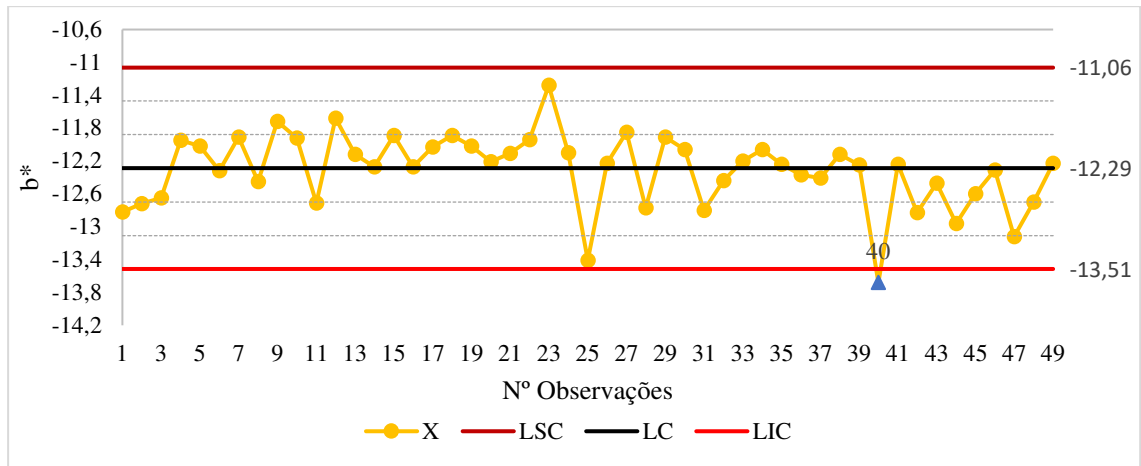


Figura II.23- Carta X para o produto B, característica b^* (49 pontos).

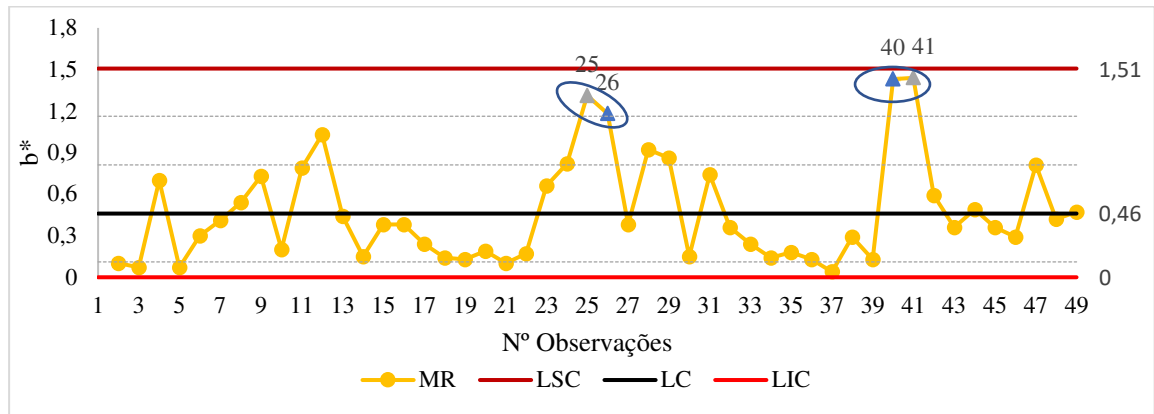


Figura II.24- Carta MR para o produto B, característica b^* (49 pontos).

Carta com 42 pontos (7 pontos fora de controle estatístico):

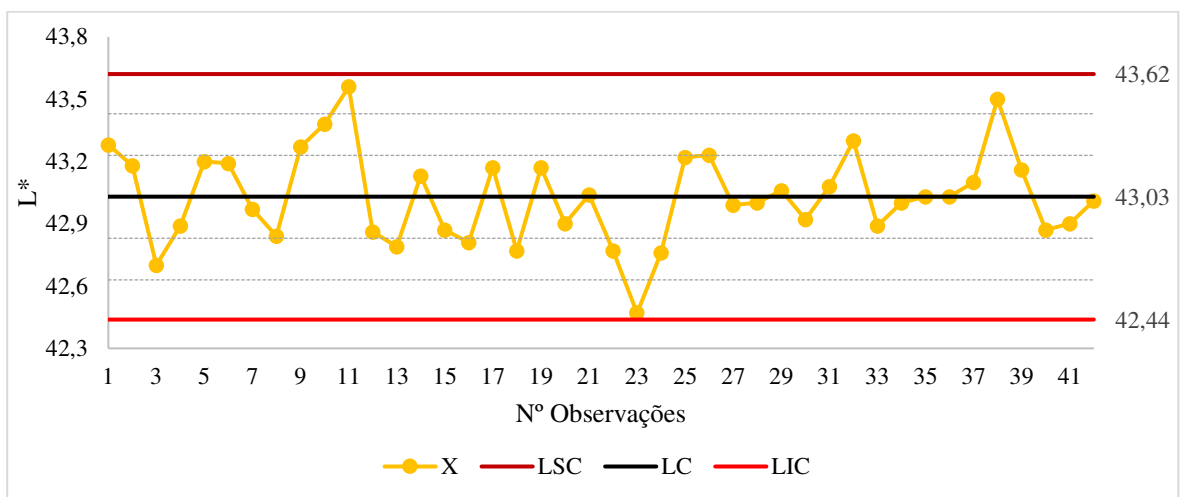


Figura II.25- Carta X para o produto B, característica L^* (42 pontos).

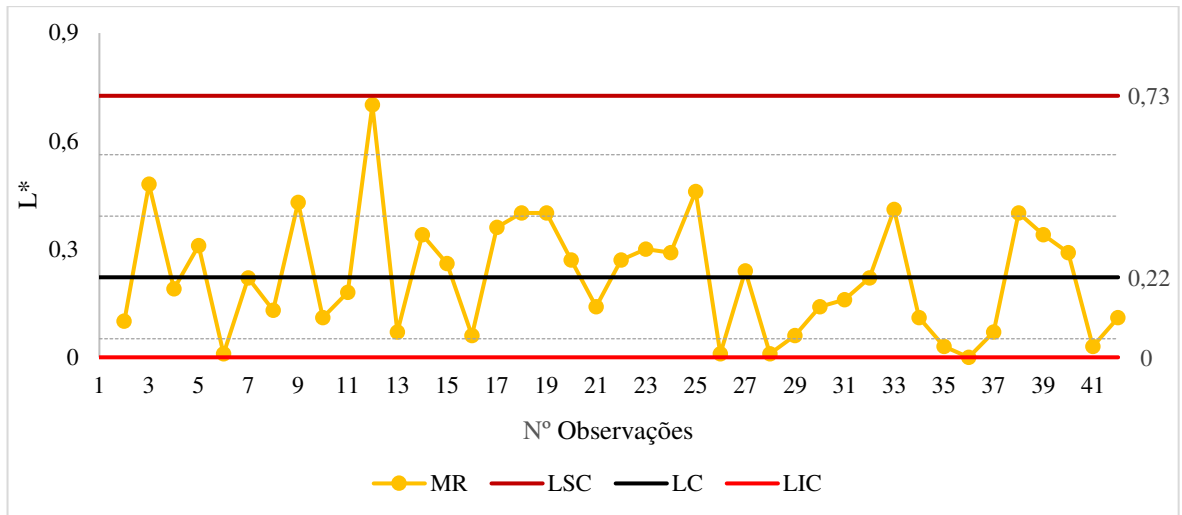


Figura II.26- Carta MR para o produto B, característica L* (42 pontos).

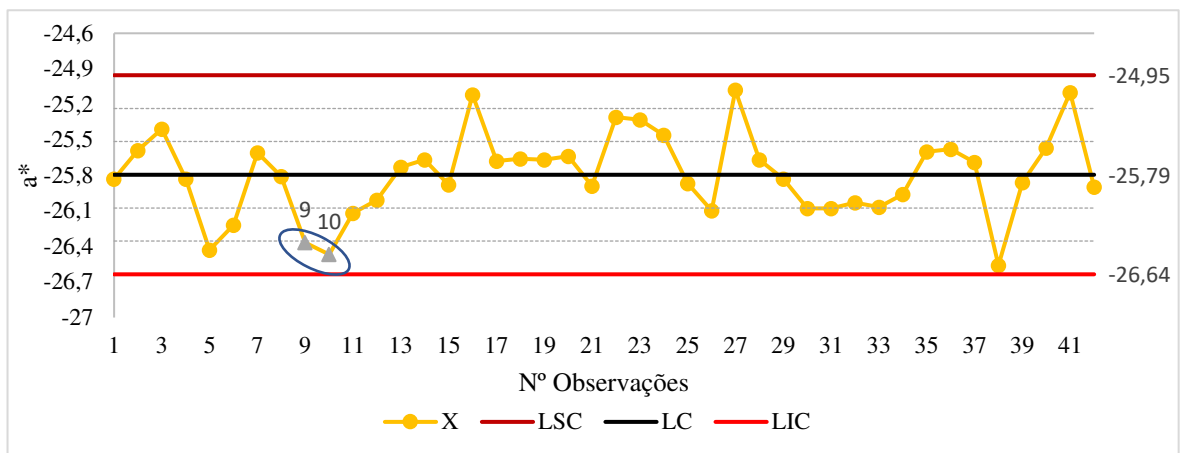


Figura II.27- Carta X para o produto B, característica a* (42 pontos).

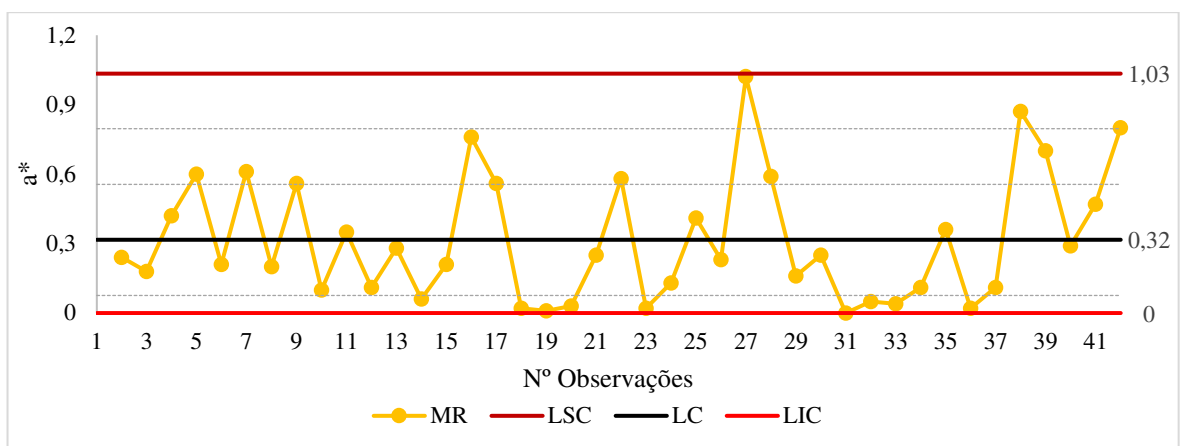


Figura II.28- Carta MR para o produto B, característica a* (42 pontos).

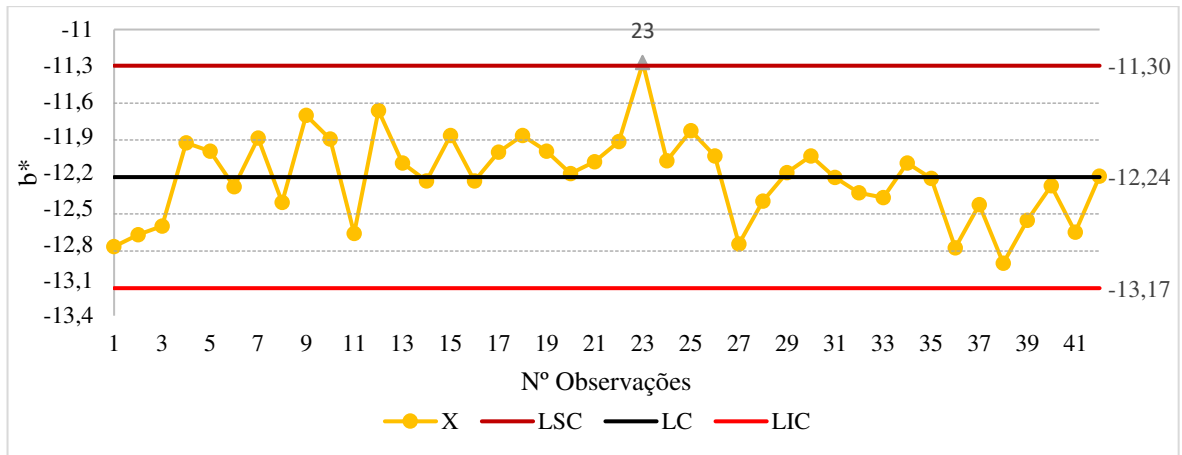


Figura II.29- Carta X para o produto B, característica b* (42 pontos).

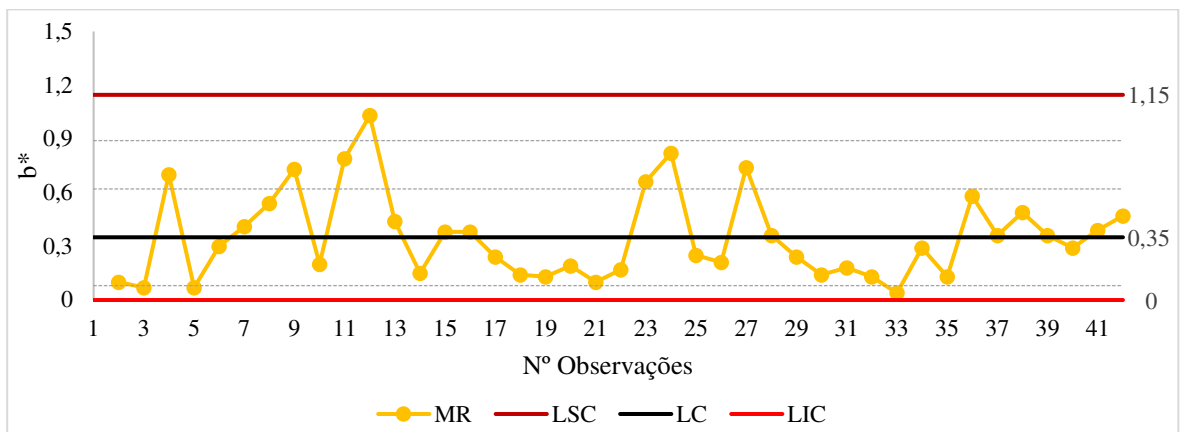


Figura II.30- Carta MR para o produto B, característica b* (42 pontos).

Carta com 39 pontos (3 ponto fora de controlo estatístico):

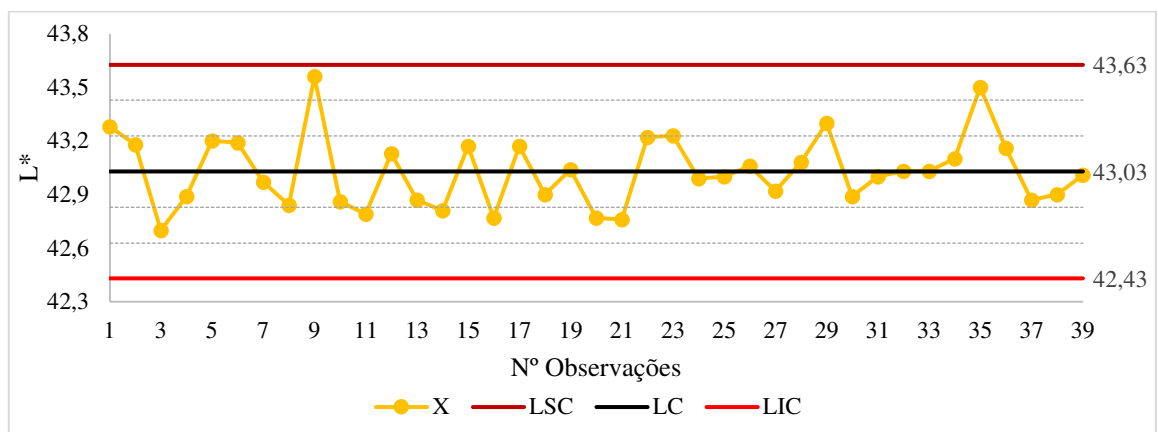


Figura II.31- Carta X para o produto B, característica L* (39 pontos).

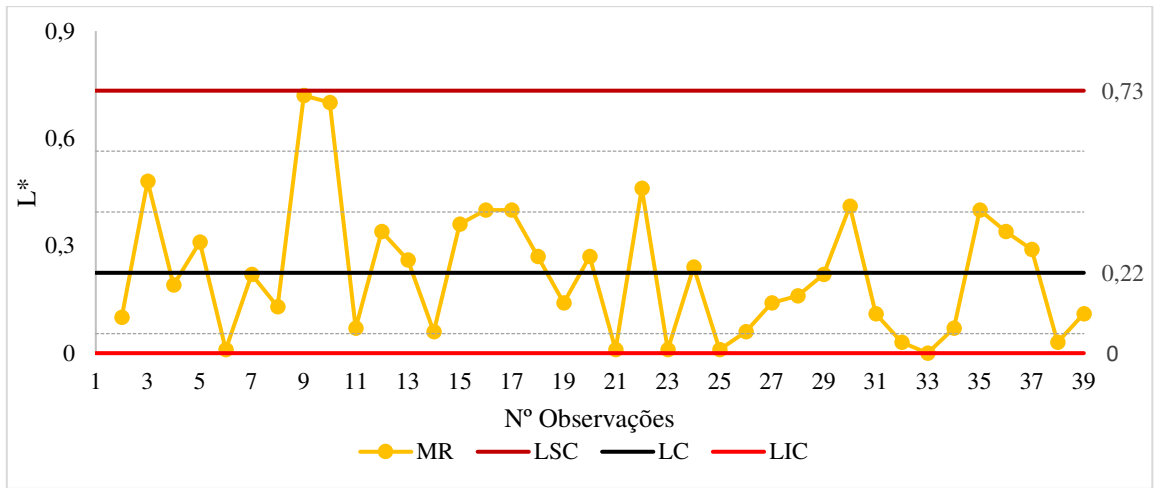


Figura II.32- Carta MR para o produto B, característica L^* (39 pontos).

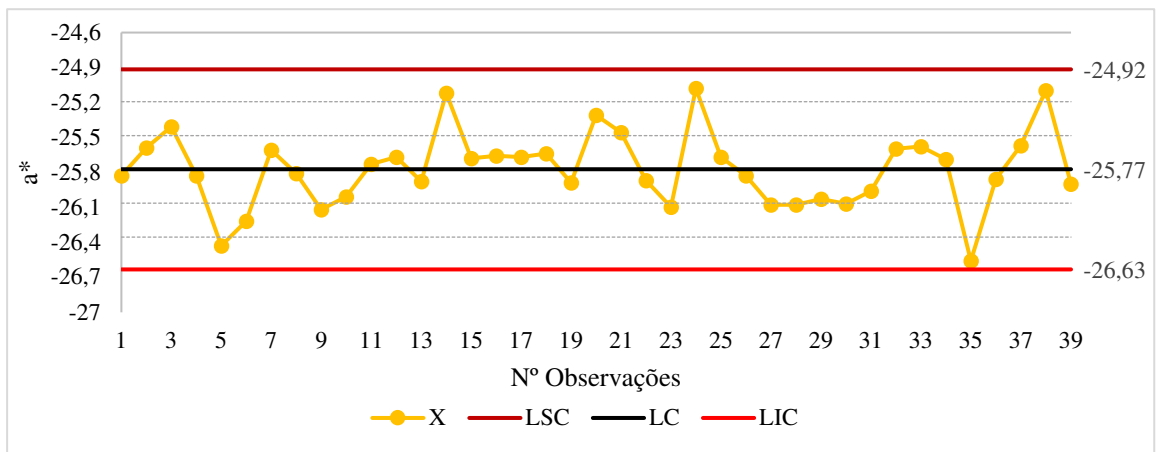


Figura II.33- Carta X para o produto B, característica a^* (39 pontos).

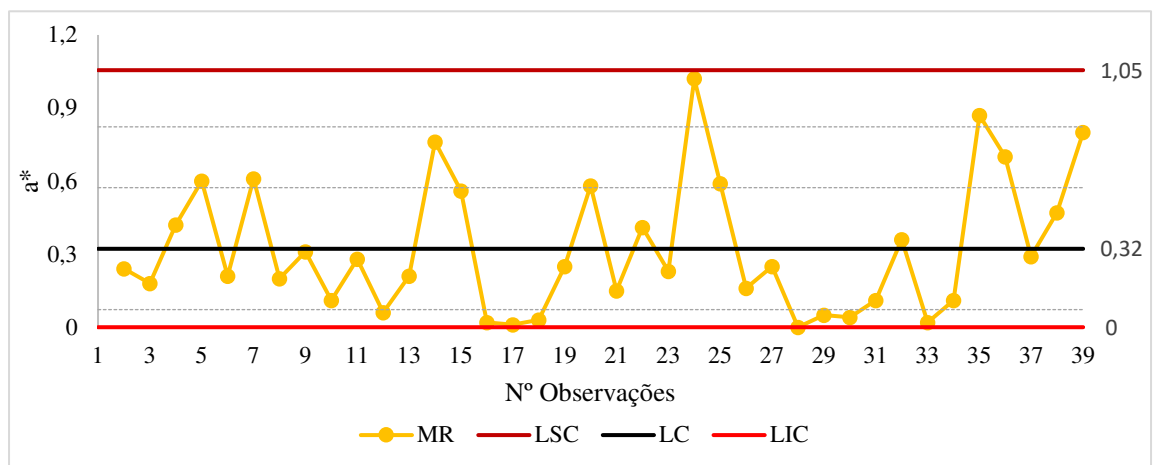


Figura II.34- Carta MR para o produto B, característica a^* (39 pontos).

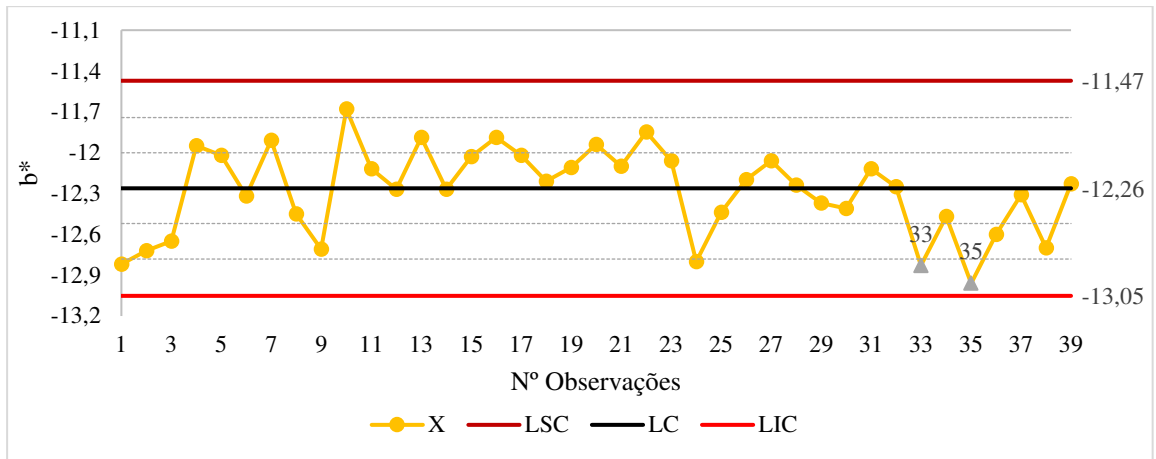


Figura II.35- Carta X para o produto B, característica b* (39 pontos).

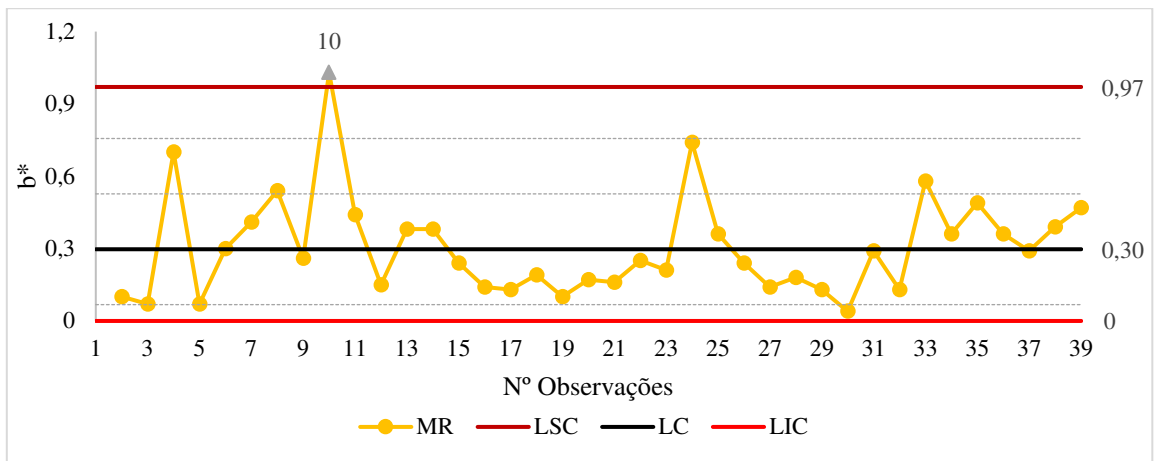


Figura II.36- Carta MR para o produto B, característica b* (39 pontos).

Carta com 36 pontos (3 pontos fora de controlo estatístico):

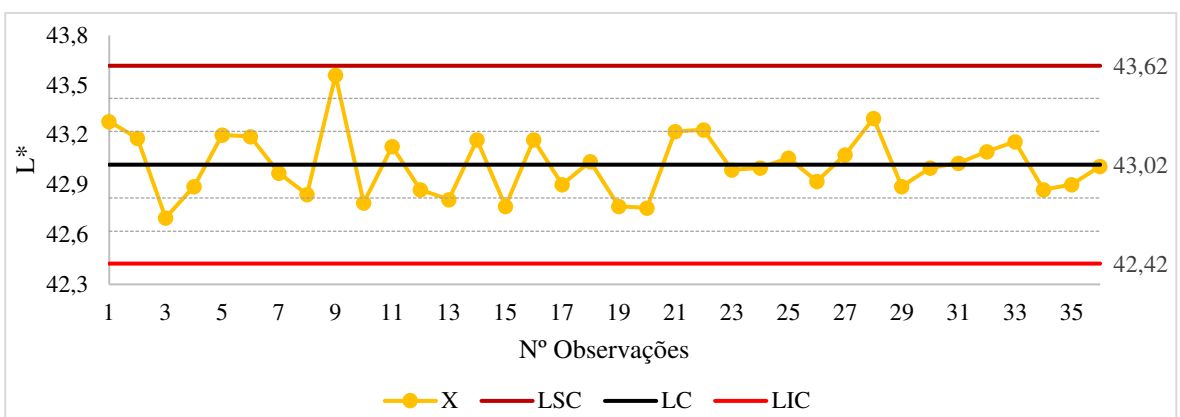


Figura II.37- Carta X para o produto B, característica L* (36 pontos).

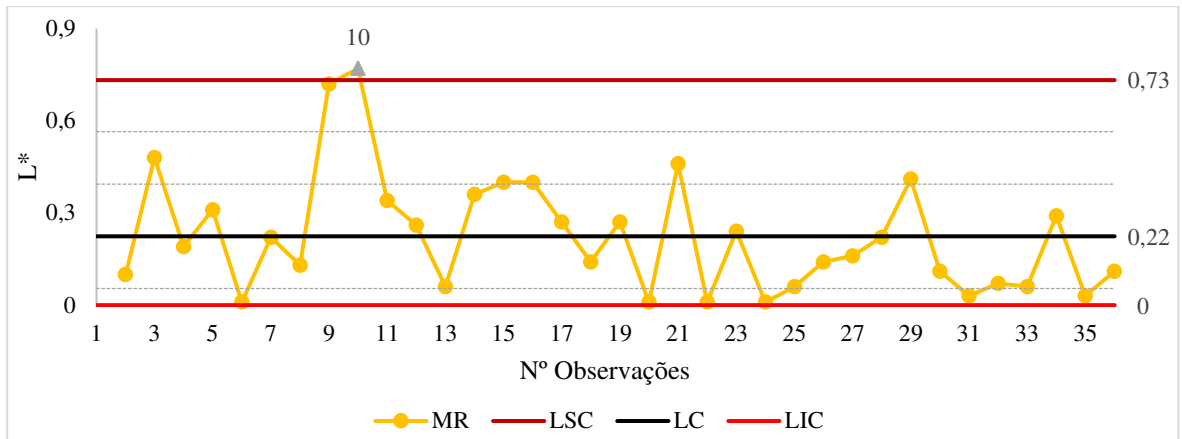


Figura II.38- Carta MR para o produto B, característica L^* (36 pontos).

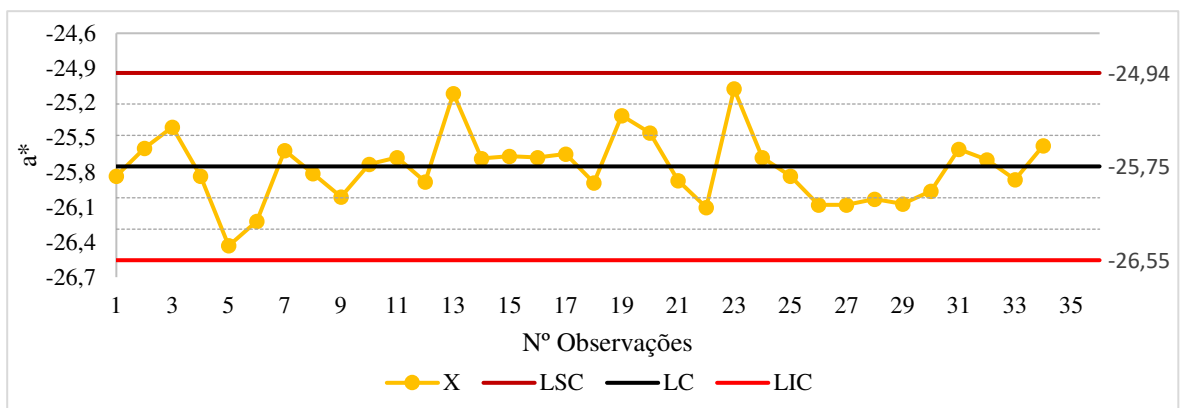


Figura II.39- Carta X para o produto B, característica a^* (36 pontos).

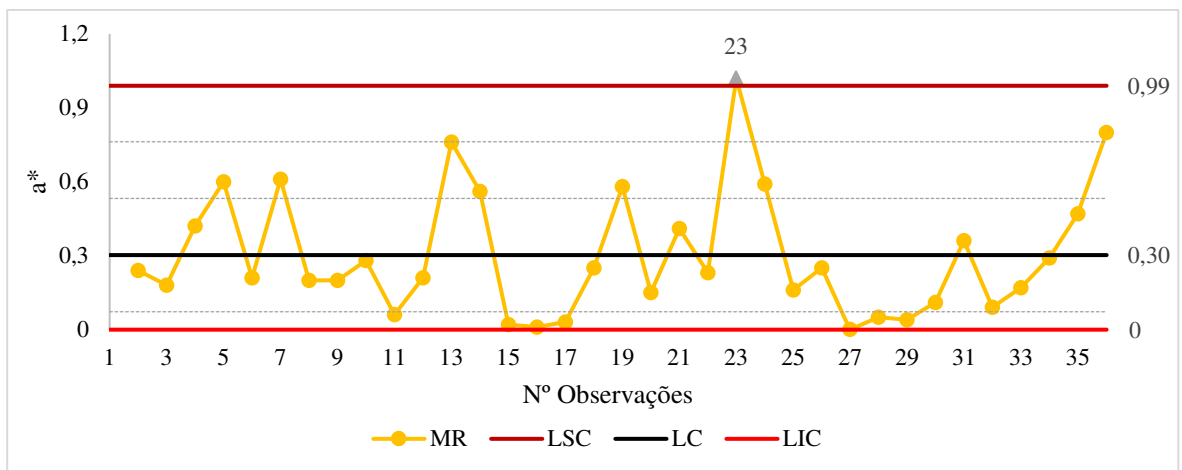


Figura II.40- Carta MR para o produto B, característica a^* (36 pontos).

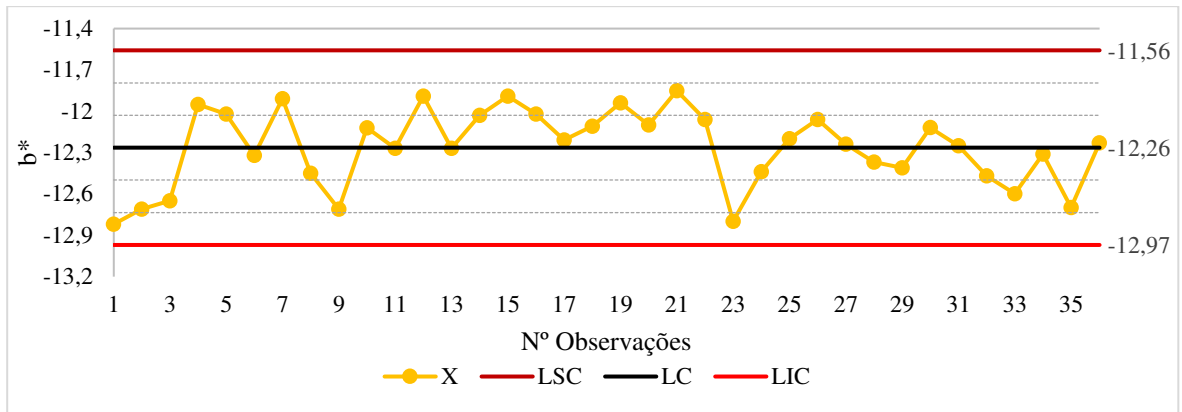


Figura II.41- Carta X para o produto B, característica b* (36 pontos).

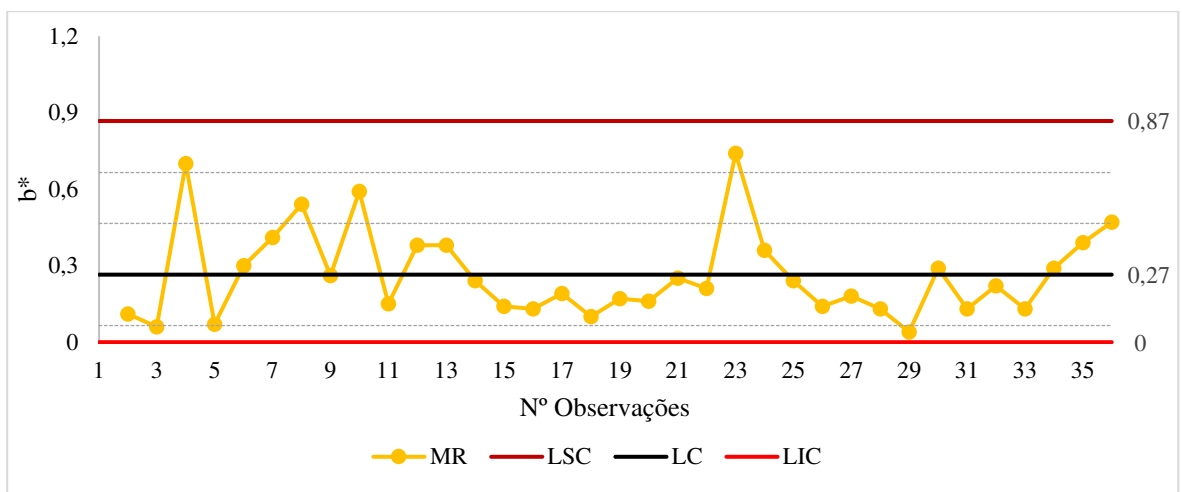


Figura II.42- Carta MR para o produto B, característica b* (36 pontos).

Produto C

Carta com 25 pontos (8 pontos fora de controlo estatístico):

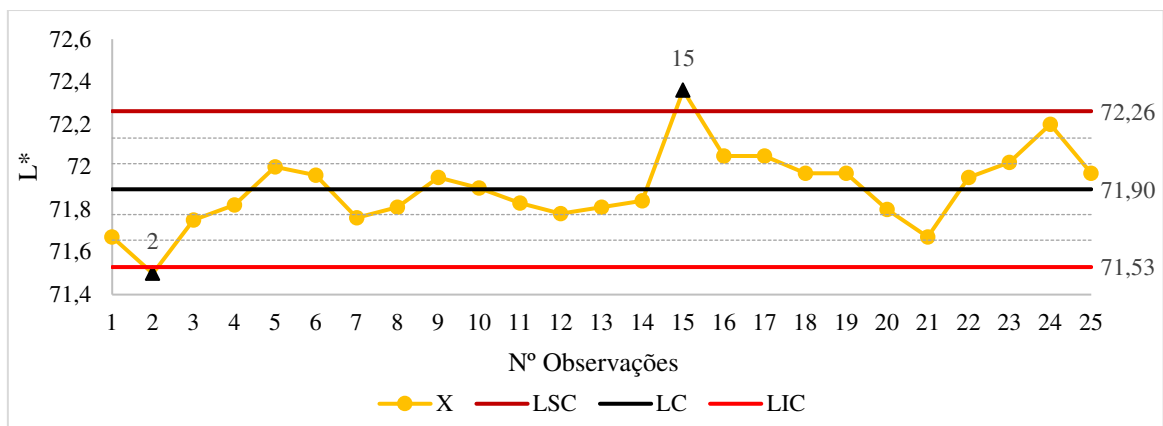


Figura II.43- Carta X para o produto C, característica L* (25 pontos).

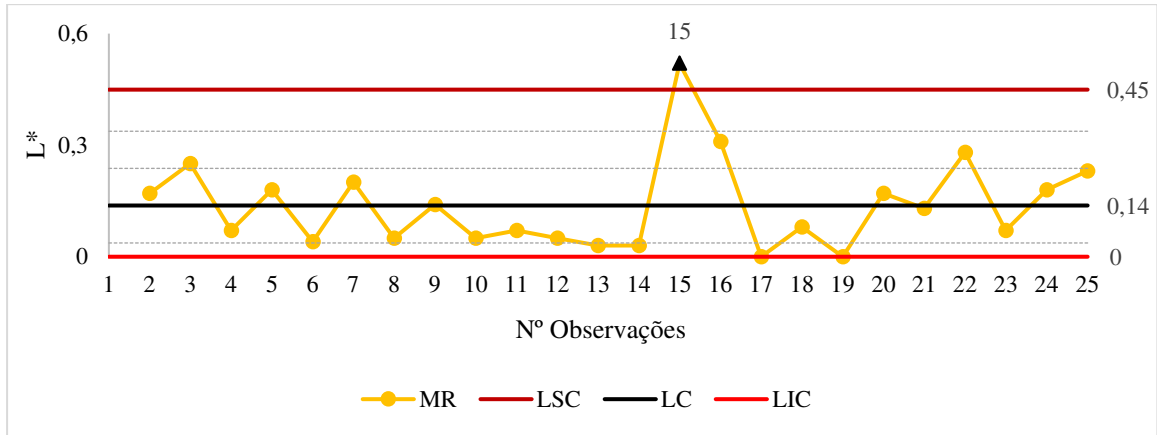


Figura II.44- Carta MR para o produto C, característica L* (25 pontos).

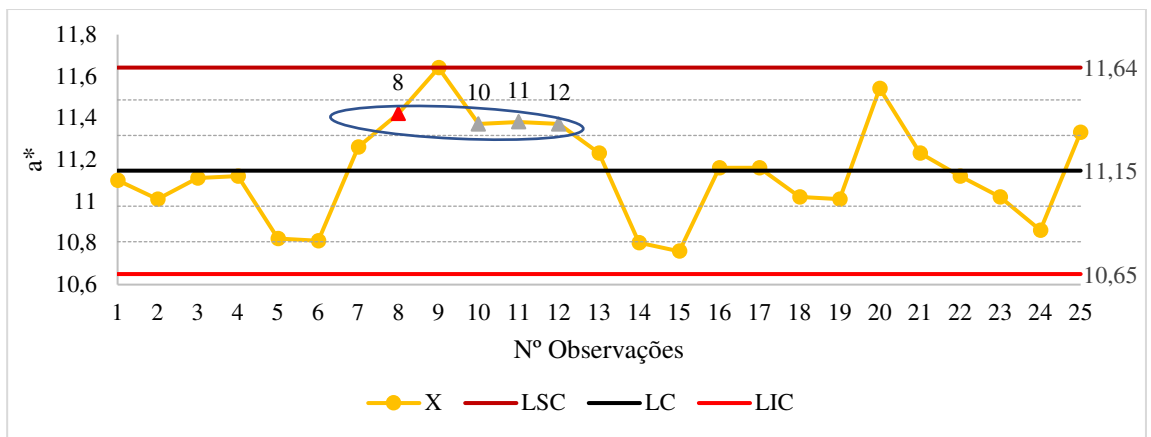


Figura II.45- Carta X para o produto C, característica a* (25 pontos).

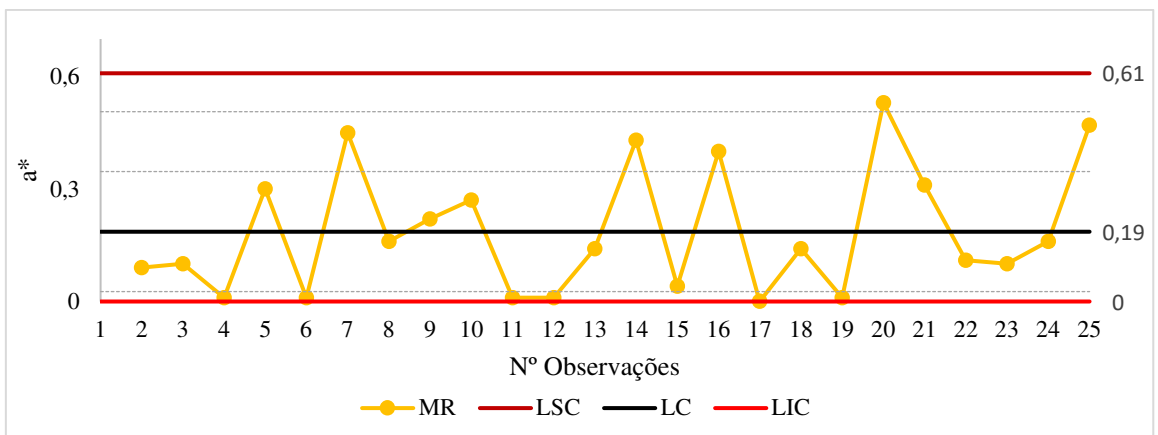


Figura II.46- Carta MR para o produto C, característica a* (25 pontos).

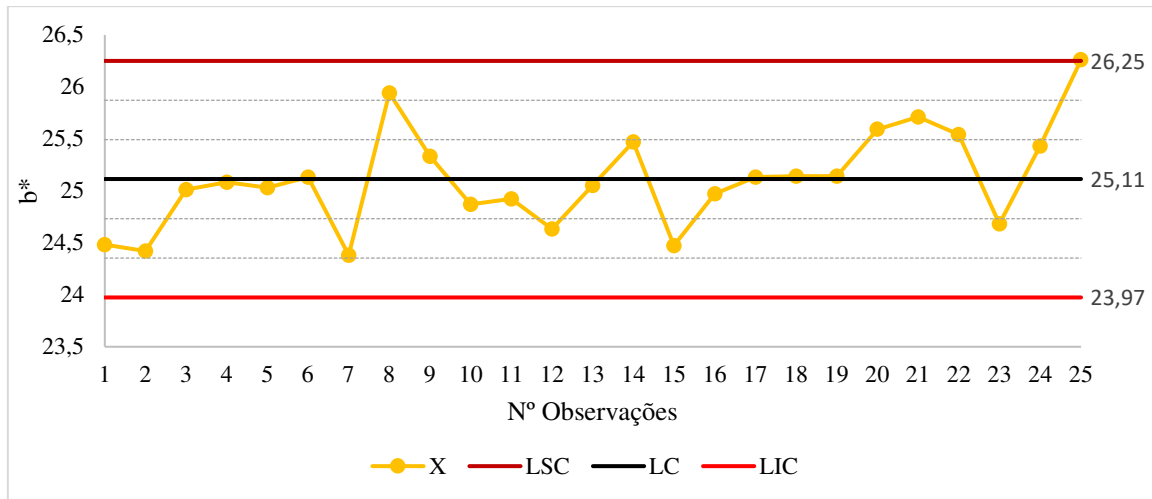


Figura II.47- Carta X para o produto C, característica b^* (25 pontos).

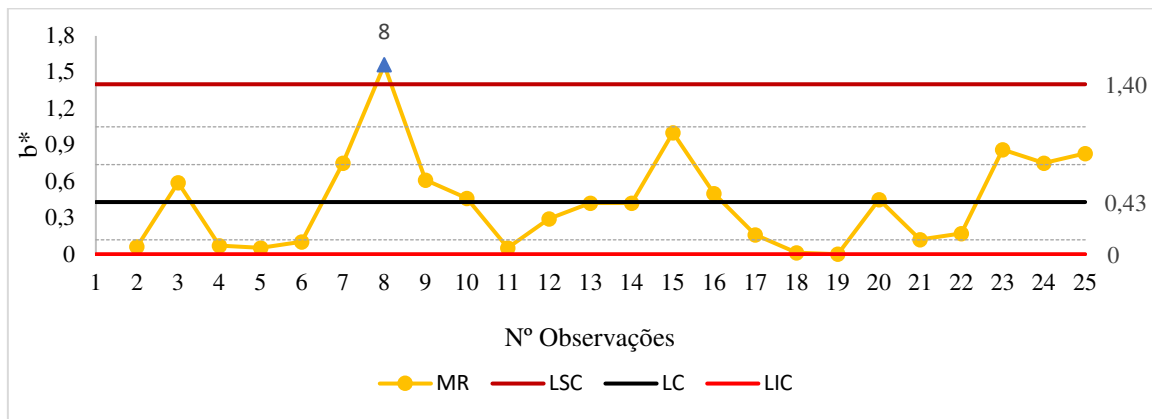


Figura II.48- Carta MR para o produto C, característica b^* (25 pontos).

Carta com 19 pontos (6 pontos fora de controlo estatístico):

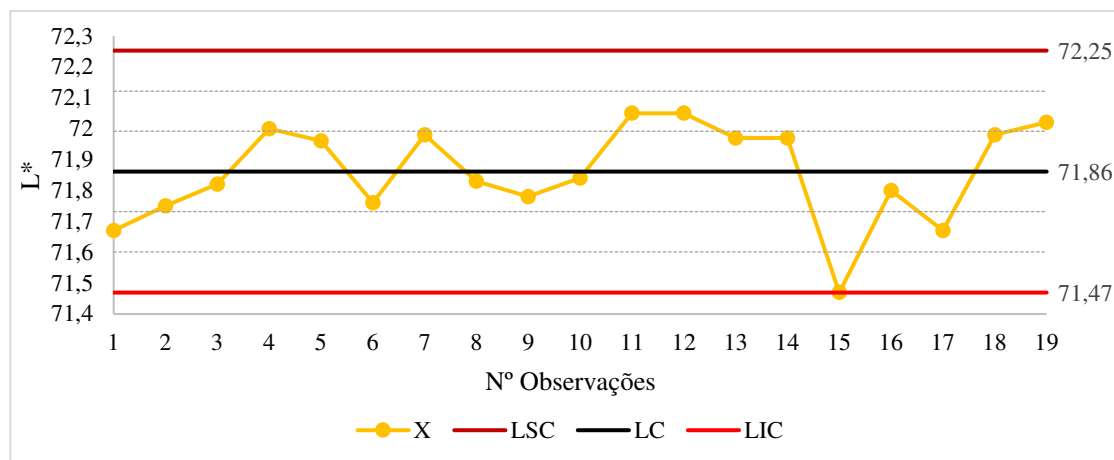


Figura II.49- Carta X para o produto C, característica L^* (19 pontos).

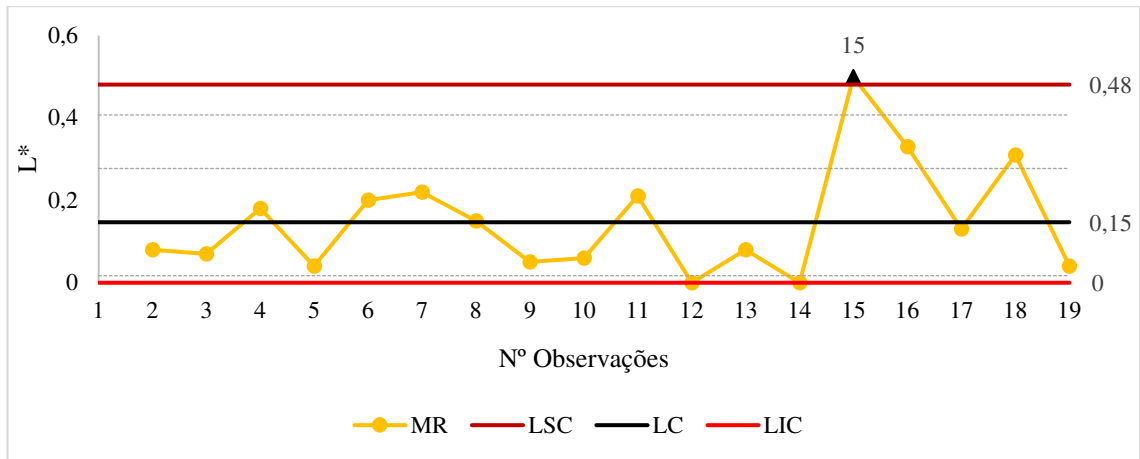


Figura II.50- Carta MR para o produto C, característica L* (19 pontos).

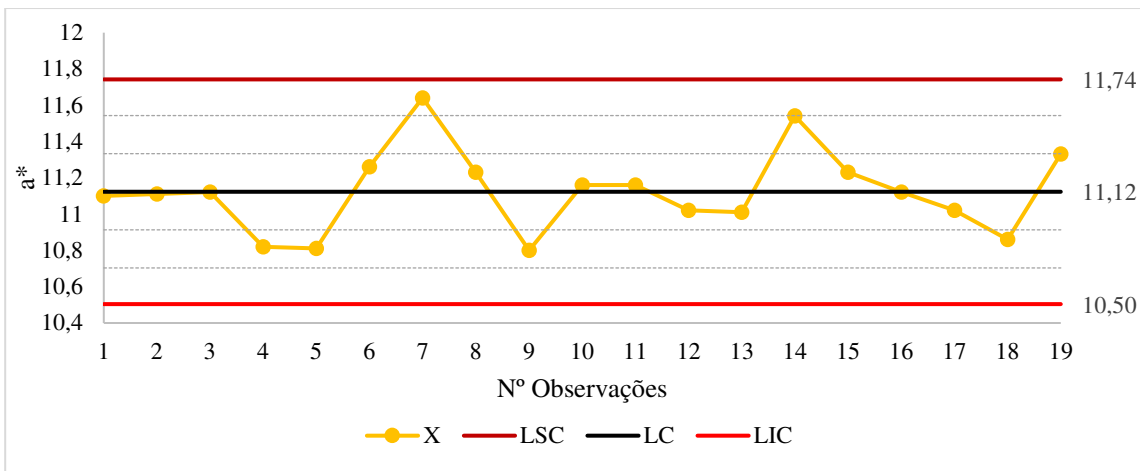


Figura II.51- Carta X para o produto C, característica a* (19 pontos).

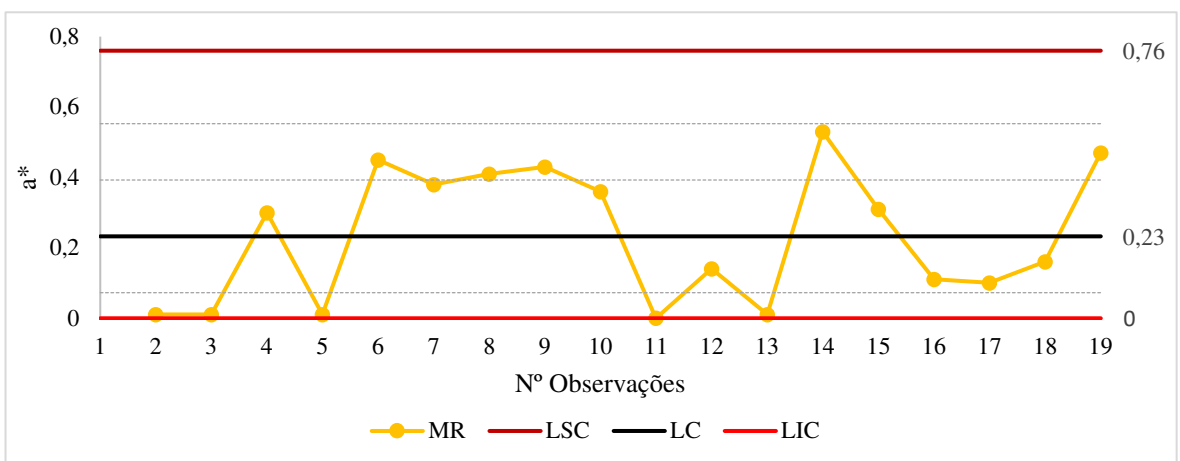


Figura II.52- Carta MR para o produto C, característica a* (19 pontos).

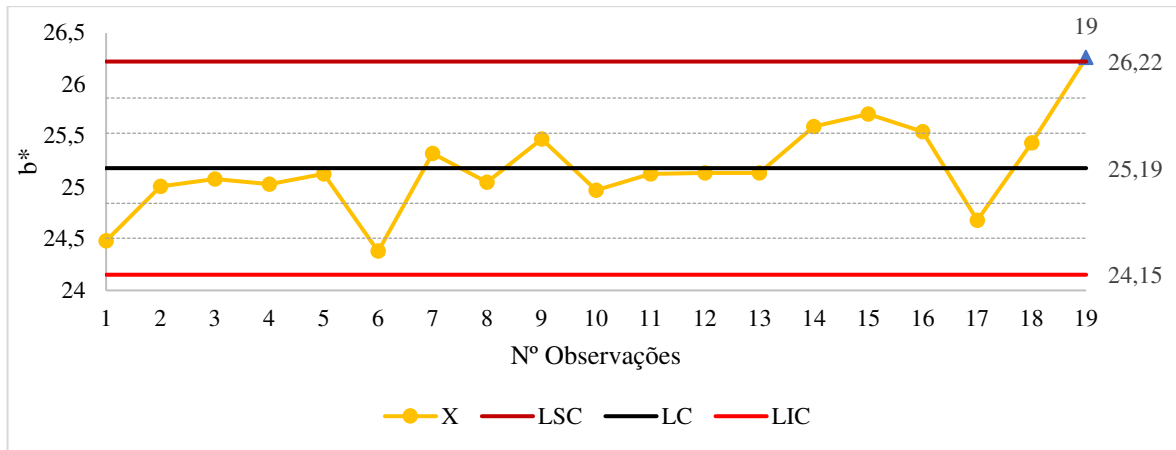


Figura II.53- Carta MR para o produto C, característica b* (19 pontos).

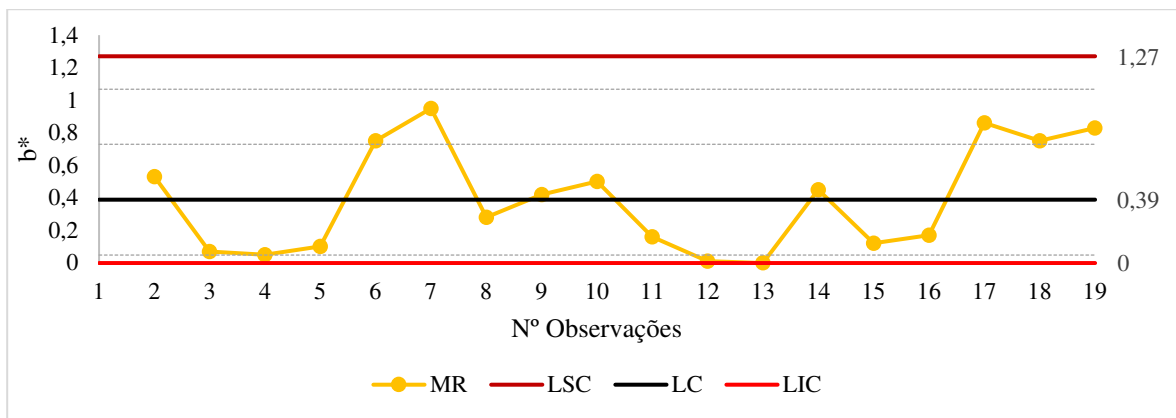


Figura II.54- Carta MR para o produto C, característica b* (19 pontos).

III. Anexo

Factores para construção das cartas de controlo de variáveis

Dimensão Amostra <i>n</i>	Carta da Média				Carta do Desvio Padrão				Carta da Amplitude					
	Factores Limites Controlo		Factores Linha Central		Factores para Limites de Controlo		Factores para Limites de Controlo		Factores para Limites de Controlo		Factores para Limites de Controlo			
	A	A ₂	A ₃	d ₂	c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,881	2,659	1,128	0,7979	0	3,267	0	2,606	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	1,693	0,8862	0	2,568	0	2,276	0,888	0	4,358	0	2,574
4	1,500	0,729	1,628	2,059	0,9213	0	2,266	0	2,088	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	2,326	0,9400	0	2,089	0	1,964	0,864	0	4,918	0	2,114
6	1,225	0,483	1,287	2,534	0,9515	0,030	1,970	0,029	1,874	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	2,704	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	2,847	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	2,970	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	3,078	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	3,173	0,9754	0,321	1,679	0,313	1,637	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	3,258	0,9776	0,354	1,646	0,346	1,610	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	3,336	0,9794	0,382	1,618	0,374	1,585	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	3,407	0,9810	0,406	1,594	0,399	1,563	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	3,472	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	3,532	0,9835	0,448	1,552	0,440	1,526	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	3,588	0,9845	0,466	1,534	0,458	1,511	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	3,640	0,9854	0,482	1,518	0,475	1,496	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	3,689	0,9862	0,497	1,503	0,490	1,483	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	3,735	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	3,778	0,9876	0,523	1,477	0,516	1,459	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	3,819	0,9882	0,534	1,466	0,528	1,448	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	3,858	0,9887	0,545	1,455	0,539	1,438	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	3,895	0,9892	0,555	1,445	0,549	1,429	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	3,931	0,9896	0,565	1,435	0,559	1,420	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad B_3 = 1 - \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_4 = 1 + \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2} \quad B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$$

Figura III.1- Factores para construção das cartas de controlo de variáveis.

Valores críticos da distribuição da estatística $D = \sup_x |S(x) - F_0(x)|$ para populações Normais e parâmetros estimados a partir de amostras de dimensão n .

N	α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
4	0,300	0,319	0,352	0,381	0,417
5	0,285	0,299	0,315	0,337	0,405
6	0,265	0,277	0,294	0,319	0,364
7	0,247	0,258	0,276	0,300	0,348
8	0,233	0,244	0,261	0,285	0,331
9	0,223	0,233	0,249	0,271	0,311
10	0,215	0,224	0,239	0,258	0,294
11	0,206	0,217	0,230	0,249	0,284
12	0,199	0,212	0,223	0,242	0,275
13	0,190	0,202	0,214	0,234	0,268
14	0,183	0,194	0,207	0,227	0,261
15	0,177	0,187	0,201	0,220	0,257
16	0,173	0,182	0,195	0,213	0,250
17	0,169	0,177	0,189	0,206	0,245
18	0,166	0,173	0,184	0,200	0,239
19	0,163	0,169	0,179	0,195	0,235
20	0,160	0,166	0,174	0,190	0,231
25	0,149	0,153	0,165	0,180	0,203
30	0,131	0,136	0,144	0,161	0,187
> 30	$\frac{0,736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,031}{\sqrt{n}}$

Figura III.2- Distribuição da estatística D (Lilliefors).

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139
3,0	0,00135	0,00131	0,00126	0,00122	0,00118	0,00114	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100
3,1	0,00097	0,00094	0,00090	0,00087	0,00084	0,00082	0,00079	0,00076	0,00074	0,00071
3,2	0,00069	0,00066	0,00064	0,00062	0,00060	0,00058	0,00056	0,00054	0,00052	0,00050
3,3	0,00048	0,00047	0,00045	0,00043	0,00042	0,00040	0,00039	0,00038	0,00036	0,00035
3,4	0,00034	0,00032	0,00031	0,00030	0,00029	0,00028	0,00027	0,00026	0,00025	0,00024
3,5	0,00023	0,00022	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018	0,00017	0,00017
3,6	0,00016	0,00015	0,00015	0,00014	0,00014	0,00013	0,00013	0,00012	0,00012	0,00011
3,7	0,00011	0,00010	0,00010	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00008	0,00008	0,00008
3,8	0,00007	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005
3,9	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003
4,0	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
4,1	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001

$$S(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$$

Figura III.3- Distribuição normal reduzida.