



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Química

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE NO CONTROLO E
MELHORIA DE PROCESSOS E PRODUTO NUMA
EMPRESA DE PRODUÇÃO DE DETERGENTES E
PRODUTOS DE LIMPEZA**

Carmem De Jesus Barros Pereira

(Licenciada em Engenharia do Ambiente)

Trabalho de Projeto ou Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientador (a):

Professora Doutora Isabel Maria Da Silva João

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Fernando Pereira Gomes

Vogais: Professora Doutora Margarida Maria De Matos Rodrigues e Silva Eiras

Professora Doutora Isabel Maria Da Silva João

Novembro de 2022



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Química

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE NO CONTROLO E
MELHORIA DE PROCESSOS E PRODUTO NUMA
EMPRESA DE PRODUÇÃO DE DETERGENTES E
PRODUTOS DE LIMPEZA**

Carmem De Jesus Barros Pereira

(Licenciada em Engenharia do Ambiente)

Trabalho de Projeto ou Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientador (a):

Professora Doutora Isabel Maria Da Silva João

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Fernando Pereira Gomes

Vogais: Professora Doutora Margarida Maria De Matos Rodrigues e Silva Eiras

Professora Doutora Isabel Maria Da Silva João

Novembro de 2022

Agradecimentos

Aqui deixo os meus sinceros agradecimentos às pessoas e instituições que contribuíram para que esta dissertação fosse realizada.

Primeiramente à Doutora Isabel João, por ter aceitado mais um desafio, pela disponibilidade, apoio e orientação sem a qual seria muito difícil progredir.

À empresa BIOSOG, S.A., pela oportunidade de realizar este trabalho, em especial à Engenheira Vanessa Queda pelo apoio e ajuda proporcionado durante a realização do mesmo.

À Assistência Médica Internacional, pela bolsa de apoio ao pagamento de propinas concedida.

Em especial aos meus pais, Manuel Pereira e Carmelita Varela que mesmo estando num outro país sempre me apoiaram e motivaram a alcançar o meu objetivo.

Aos familiares e amigos, pela demonstração de carinho e apoio durante este percurso.

Aos novos colegas e amigos que fiz durante o curso, em especial aos que criamos amizade além da vida académica.

Muito obrigada a todos.

“A gratidão é o único tesouro dos humildes.” William Shakespeare.

Resumo

O objetivo do trabalho visa na implementação de Ferramentas da Qualidade no Controlo e Melhoria de Processos e Produtos numa empresa de Produção de Detergentes e Produtos de Limpeza.

Inicialmente fez-se o diagnóstico do processo de produção e do controlo da qualidade efetuados pela empresa, e posteriormente decidiu-se implementar as cartas de controlo à fase de embalagem de produto acabado, nomeadamente cartas de controlo de variáveis para a pesagem das várias referências de produto.

Implementou-se as cartas de observações individuais e amplitudes móveis para a Fase I do controlo estatístico e as cartas Z e W_{MR} para a Fase II, a fase de monitorização.

Verificou-se que a maioria dos processos de pesagem dos vários tipos de produtos apresentou uma variabilidade reduzida quando comparada com a especificação estabelecida a partir dos erros máximos admissíveis, estabelecidos na legislação portuguesa. Também foi possível concluir a partir da Fase I que para a generalidade dos casos os processos de pesagem tendem a estar descentrados para o lado superior verificando-se que na maioria das situações a média do processo é superior ao valor alvo de especificação. Neste estudo de caso observou-se que na fase II existem muitas situações de produto que não cumprem com o teste 1 e foi admitido que tal situação pode advir de uma fraca precisão dos valores dos parâmetros do processo calculados para cada referência de produto. Este estudo apesar das suas limitações tem a grande vantagem de constituir um ponto de partida para a utilização futura de cartas de controlo pois para além de permitir diagnosticar causas assinaláveis dá a oportunidade à empresa de implementar ações de melhoria no sentido de reduzir as suas perdas e alcançar níveis mais elevados de excelência organizacional.

Palavras-chaves: Cartas de controlo, Controlo Estatístico do Processo, Pequenas Produções, Qualidade.

Abstract

The objective of the work aims at the implementation of Quality Tools in the Control and Improvement of Processes and Products in a company of Detergents and Cleaning Products Production.

Initially it was made the diagnosis of the production process and quality control carried out by the company, and then decided to implement the control charts to the packaging phase of finished product, including control charts of variables for weighing the various references of product.

The charts of individual observations and moving ranges were implemented for Phase I of the statistical control, and the Z and W_{MR} charts for Phase II, the monitoring phase.

It was found that most of the weighing processes of the various types of products showed a reduced variability when compared with the specification established from the maximum permissible errors, established in the Portuguese legislation. It was also possible to conclude from Phase I that for most cases the weighing processes tend to be decentralized to the upper side, verifying that in most situations the process average is higher than the specification target value. In this case study it was observed that in phase II there are many product situations that do not comply with test 1 and it was admitted that such a situation may arise from a poor precision of the values of the process parameters calculated for each product reference. This study, despite its limitations, has the great advantage of being a starting point for the future use of control charts, because besides allowing the diagnosis of remarkable causes, it gives the company the opportunity to implement improvement actions to reduce its losses and achieve higher levels of organizational excellence.

Keywords: Control Charts, Statistical Process Control, Short Productions, Quality.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice	v
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xi
Lista de Sigla e Acrónimos.....	xii
Lista de Símbolos e Unidades	xiv
1. Capítulo 1	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Contextualização do problema	2
1.3. Motivação	2
1.4. Objetivos da Dissertação	2
1.5. Estrutura da Dissertação	3
2. Capítulo 2	5
2.1. Caraterização da Empresa	5
2.1.1. Missão.....	6
2.1.2. Visão	6
2.2. Política da Qualidade.....	7
2.3. Estrutura Organizacional	9
2.4. Processo de produção	10
2.4.1. Fabricação do produto intermédio	12
2.4.2. Embalamento Produto Acabado	12
2.5. Controlo da qualidade.....	18
2.5.1. Controlo da qualidade em curso de fabricação – Produto Intermédio.....	20

2.5.2.	Controlo da qualidade - Produto Acabado.....	21
3.	Capítulo 3 – Controlo e melhoria da qualidade.....	25
3.1.	Evolução histórica da qualidade	25
3.2.	Definições da Qualidade.....	30
3.3.	Controlo estatístico do processo	32
3.3.1.	Causas da variabilidade do processo	35
3.4.	Cartas de controlo.....	38
3.4.1.	Modelo geral de uma carta de controlo	41
3.4.2.	Escolha dos limites de controlo	43
3.4.3.	Aplicação das cartas – Fase I e Fase II	44
3.4.4.	Regras para deteção das causas assinaláveis	46
3.5.	Tipos de cartas de controlo univariado.....	48
3.5.1.	Carta de controlo de variáveis.....	50
3.5.1.1.	Carta de controlo de variáveis para a Fase I.....	51
3.5.1.2.	Carta de controlo de variáveis para a Fase II	54
3.6.	Pressupostos para aplicação das cartas de controlo.....	55
3.6.1.	Aleatoriedade dos dados	55
3.6.2.	Normalidade dos dados.....	55
3.6.3.	Independência dos dados	56
3.7.	Capacidade do processo.....	56
3.7.1.	Índice de capacidade do processo	57
3.8.	Controlo estatístico de processo para pequenas produções	59
3.8.1.	Tipos de cartas e condições de aplicações	61
3.8.1.1.	Cartas de Controlo de Diferenças.....	63
3.8.1.2.	Cartas de Controlo Z e W.....	66
4.	Capítulo 4	69
4.1.	Caso de estudo	69

4.2.	Recolha de dados	69
4.3.	Procedimento para implementação do controlo estatístico do processo	71
4.4.	Construção das cartas de controlo	71
4.4.1.	Cartas de controlo fase I	72
4.4.1.1.	Determinação dos limites de controlo	72
4.4.1.2.	Verificação da normalidade dos dados.....	74
4.4.1.3.	Estimação dos parâmetros de controlo.....	75
4.4.1.4.	Análise da capacidade do processo	75
4.5.	Cartas de controlo fase II – Carta Z e W_{MR}	77
5.	Capítulo 5	85
5.1.	Resultados e Discussões	85
6.	Capítulo 6.....	94
6.1.	Conclusões.....	94
6.2.	Perspetivas Futuras	96
7.	Bibliografia.....	97
	Anexos	1
	Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I	2
	Anexo II - Fatores para construção de Cartas de Controlo para Variáveis	17
	Anexo III – Descrição dos equipamentos de enchimento	18
	Anexo IV – Equipamentos de pesagem.....	19
	Anexo V – Erros admissíveis por defeito	20
	Anexo VI – Teste da homogeneidade das variâncias – Método Empírico.....	21

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da Empresa BIOSOG, S.A.	6
Figura 2 - Logotipo da Empresa BIOSOG, S.A.	6
Figura 3 - Mapa de processo e de interação entre eles.	8
Figura 4 - Estrutura organizacional da empresa.	10
Figura 5 - Fluxograma do processo da linha de enchimento manual.	13
Figura 6 - Linha de enchimento manual.	13
Figura 7 - Fluxograma do processo da linha de enchimento semi-automático.	14
Figura 8 - Linha de enchimento semi-automático.	15
Figura 9 - Fluxograma da linha de enchimento semi-automático e automático.	15
Figura 10 - Linha de enchimento automático.	16
Figura 11 – Fluxograma do processo de fabricação.	17
Figura 12 - Organograma da Gestão da Qualidade, Inovação & Desenvolvimento.	18
Figura 13 - Fluxograma do controlo da qualidade do produto intermédio.	19
Figura 14 - Fluxograma do controlo da qualidade pré-embalados.	20
Figura 15 - Registo do controlo de pesagem.	22
Figura 16 - Controlo da qualidade das operações de embalagem.	23
Figura 17 - Fluxograma - controlo da qualidade - produto acabado.	24
Figura 18 - Evolução da qualidade.	30
Figura 19 - Setes ferramentas da qualidade.	35
Figura 20 - Entrada e saída de um processo.	36
Figura 21 - Causas da variabilidade de um processo.	38
Figura 22 - Exemplo de uma carta de controlo.	42
Figura 23 - Regra 1 para deteção de causas assinaláveis.	47
Figura 24 - Regra 2 para deteção de causas assinaláveis.	47
Figura 25 - Regra 3 para deteção de causas assinaláveis.	47
Figura 26 - Regra 4 para deteção de causas assinaláveis.	47
Figura 27 - Regra 5 para deteção de causas assinaláveis.	48
Figura 28 - Regra 6 para deteção de causas assinaláveis.	48
Figura 29 - Regra 7 para deteção de causas assinaláveis.	48
Figura 30 - Regra 8 para deteção de causas assinaláveis.	48
Figura 31 - Esquema de seleção de cada tipo de carta univariado a utilizar.	50

Figura 32 - Metodologia para escolha da melhor carta de controlo para "pequenas produções".....	63
Figura 33 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 110 0,5L.....	73
Figura 34 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 110 0,5L.....	73
Figura 35 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 110 0,5L.....	75
Figura 36 - Carta Z - Linha de enchimento semi-automático.....	79
Figura 37 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento semi-automático.....	80
Figura 38 - Carta Z - Linha de enchimento automático.....	81
Figura 39 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento automático.....	82
Figura 40 - Carta Z - Linha de enchimento manual.....	83
Figura 41 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento manual.....	84
Figura 42 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 101 0,75L.....	2
Figura 43 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 101 0,75L.....	2
Figura 44 - Gráfico de Probabilidade Normal Produto 101 0,75L.....	3
Figura 45 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 102 1L.....	3
Figura 46 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 102 1L.....	4
Figura 47 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 102 1L.....	4
Figura 48 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 103 5L.....	5
Figura 49 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 103 5L.....	5
Figura 50 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 103 5L.....	6
Figura 51 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 104 5L.....	6
Figura 52 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 104 5L.....	7
Figura 53 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 104 5L.....	7
Figura 54 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 105 0,75L.....	8
Figura 55 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 105 0,75L.....	8
Figura 56 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 105 0,75L.....	9
Figura 57 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 106 0,75L.....	9
Figura 58 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 106 0,75L.....	10
Figura 59 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 106 0,75L.....	10
Figura 60 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 107 10L.....	11
Figura 61 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 107 10L.....	11
Figura 62 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 107 10L.....	12
Figura 63 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 108 5L.....	12
Figura 64 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 108 5L.....	13

Figura 65 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 108 5L.....	13
Figura 66 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 109 5L.....	14
Figura 67 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 109 5L.....	14
Figura 68 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 109 5L.....	15
Figura 69 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 111 5L.....	15
Figura 70 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 111 5L.....	16
Figura 71 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 111 5L.....	16
Figura 72 - Erros admissíveis por defeito de acordo com as quantidades nominais.	20

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Regras para detecção das causas especiais. -----	47
Tabela 2 - Tipos de cartas de controlo para variáveis e atributos. -----	49
Tabela 3 - Limites de controlo para diferentes tipos de cartas de controlo de variáveis – Fase I. -----	53
Tabela 4 – Estimação dos parâmetros do processo para as cartas de controlo de variáveis - Fase I. -----	54
Tabela 5 - Limites de controlo para diferentes tipos de cartas de controlo de variáveis – Fase II. -----	54
Tabela 6 - Valores mínimos recomendáveis para o índice de capacidade do processo.	59
Tabela 7 - Cartas de controlo estatístico de variáveis para "pequenas produções". -----	62
Tabela 8 - Tipos de cartas de controlo estatístico de atributos para "pequenas produções".-----	62
Tabela 9 - Identificação dos produtos utilizados para construção das cartas de controlo. -----	70
Tabela 10 - Resumo da estimação dos parâmetros do processo. -----	92
Tabela 11 - Resumo dos valores das densidades, tara, tolerância e nominal. -----	93
Tabela 12 - Resumo dos limites de especificação e capacidade do processo.-----	93
Tabela 13 - Fatores para construção de Cartas de Controlo para Variáveis. -----	17
Tabela 14 - Descrição dos equipamentos de enchimento.-----	18
Tabela 15 - Equipamentos de pesagem. -----	19
Tabela 16 - Teste da homogeneidade das variâncias.-----	21

Lista de Sigla e Acrónimos

$(C_{pk})_i$	Índice de Capacidade do Processo Inferior
$(C_{pk})_s$	Índice de Capacidade do Processo Superior
a.c	Antes de Cristo
ANSI	American National Standardas Institute
ARL	Avarege Run Lengh
ASQC	American Society for Quality Control
CAE	Classificação das Atividades Económicas
CCC	Caixa de Cartão Canelado
CEP	Controlo Estatístico do Processo
C_p	Índice de Capacidade do Potencial
C_{pk}	Índice de Capacidade do Processo
CQ	Controlo da Qualidade
CQL	Controlo da Qualidade Laboratorial
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Fabricação
FAC	Função de Auto-Correlação
FACP	Função de Auto-Correlação Parcial
ISO	International Organization Standardization
JIT	Just In Time
LC	Limite Central
LIC	Limite Inferior de Controlo
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controlo

LSE	Limite Superior de Especificação
ME	Material de embalagem
MP	Matéria-Prima
NP	Norma Portuguesa
PA	Produto Acabado
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PI	Produto Intermédio
SAP	System Analysis Program Development
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SHST	Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho
SPC	Statistical Process Control

Lista de Símbolos e Unidades

-	Subtração
%	Porcentagem
\bar{S}^2	Médias das variâncias
$\hat{\mu}$	Estimador da média
μ_w	Média de uma característica da qualidade
\overline{MR}	Média das amplitudes móveis
MR_i	Amplitude móvel da amostra i
\bar{R}	Médias das amplitudes
\bar{S}	Média dos desvios padrões
\tilde{X}	Mediana
$\bar{\bar{X}}$	Médias das médias das amostras
\bar{x}	Média da amostra
$\hat{\sigma}$	Estimador do desvio padrão
σ_w	Desvio padrão de uma característica da qualidade
+	Adição
<	Menor que
=	Igual a
>	Maior que
\pm	Mais ou menos
\leq	Menor ou igual a
\geq	Maior ou igual a
μ	Média do processo
A, B, C	Zonas de identificação das causas especiais

A_2, A_3	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
B_3, B_4, B_5, B_6	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
D_1, D_3, D_4	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
d_2, c_4	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
i	Amostra
kg	Quilogramas
L	Litros
m	Número total da amostra
min	Mínimo
mL	Mililitros
MR	Amplitude Móvel
n	Dimensão da amostra
N	Número de unidades
n°	Número
p	Número de populações
t	Tempo
T	Toneladas
w	Estatística da carta de controlo
Z	Variável da normal reduzida
α	Probabilidade do erro do Tipo I
β	Probabilidade do erro Tipo II
σ	Desvio Padrão do processo

1. Capítulo 1

1.1. Introdução

Uma das preocupações comuns da humanidade é estar e viver num ambiente limpo que não tem unicamente o objetivo de tornar o ambiente organizado e livre de sujidades, mas também para a eliminação de bactérias reduzindo assim o risco de doenças que possam ser causadas pelas mesmas.

A escavação arqueológica da antiga Babilônia forneceu evidências de que o sabão foi feito e usado em 2800 anos a.C (Broze, 1999). Este era produzido através de uma reação denominada saponificação, onde existe a hidrólise de lípidos (gorduras e óleos de origem vegetal e animal) mediante a adição de uma base forte (por exemplo hidróxido de sódio) e aquecimento da mistura (Cardoso et al., 2017).

O ano de 1916 é um marco importante, pois devido à escassez de gordura durante a primeira Guerra Mundial, os alemães desenvolveram o primeiro detergente sintético, contudo o verdadeiro avanço aconteceu nos inícios dos anos 1940 com a produção de detergentes nos Estados Unidos (Broze, 1999).

Ao longo dos tempos a produção de detergentes foi ficando cada vez mais desenvolvida e nos dias de hoje é possível encontrar uma vasta gama de produtos para dar resposta às mais variadas necessidades dos consumidores. Conforme a aplicação e sofisticação do detergente, este é composto por diferentes tensioativos, agentes coadjuvantes, agentes oxidantes, enzimas, corantes e fragrância.

No entanto, existem produtos que diferem na sua forma final (líquido, pó, gel, etc.), no seu objetivo de limpeza (cozinha, casa de banho, roupas), nos benefícios existentes (desinfetar, amaciar, etc.) ou então estética (cor, fragrância) (Cardoso et al., 2017).

Proporcionalmente à evolução da produção de um produto deve-se ter em atenção a qualidade do mesmo.

A qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores na seleção de produtos e serviços que competem entre si.

Consequentemente, compreender e melhorar a qualidade são fatores chave que conduzem ao sucesso, ao crescimento e um melhor posicionamento face à competitividade de uma empresa. A melhoria da qualidade e a sua implementação como parte integrante da

estratégia da empresa produzem retorno substancial sobre o investimento (Montgomery, 2013).

1.2. Contextualização do problema

Pretende-se com esse estudo, aplicar as ferramentas da qualidade no controlo estatístico e melhoria do processo e produto numa empresa de produção de detergentes e produtos de limpeza. As ferramentas a utilizar abordam um suporte à redução da variabilidade e monitorização do desempenho do processo de produção de detergentes e produtos de limpeza com o intuito de proporcionar a estabilidade do processo e a melhoria da capacidade do mesmo a através da redução da sua variabilidade.

1.3. Motivação

Em parceria com a BIOSOG, S.A., foi levantada a hipótese da utilização das Ferramentas da Qualidade no Controlo e Melhoria do Processo e Produtos de Produção de Detergentes e Produtos de Limpeza.

A realização do presente trabalho assenta como uma das principais motivações, a estabilidade do processo produtivo e melhoria da sua capacidade, através de implementação de técnicas e ferramentas, reduzindo a variabilidade do mesmo, num processo de melhoria contínua, tendo como ponto de partida a compreensão do processo de produção e do Controlo da Qualidade desde a receção da matéria-prima até ao produto acabado.

1.4. Objetivos da Dissertação

Com a dissertação pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

- Caraterização da empresa BIOSOG, S.A., assim como a estrutura organizacional, principais áreas de negócio e portfólio do mesmo.
- Estudo dos processos de produção de produtos de limpeza e detergentes da empresa.

- Compreensão do Controlo da Qualidade (CQ) que é realizado ao longo de todo processo desde a compra de matérias-primas ao controlo em curso e controlo dos produtos acabados. Análise de histórico e diagnóstico.
- Análise/Estudo de Ferramentas da Qualidade com vista à sua aplicabilidade à organização.
- Seleção das cartas de controlo mais adequadas para a organização e exemplos práticos da sua aplicação de modo a obter a estabilidade do processo e estudos de capacidade.

1.5. Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos. O primeiro capítulo, a introdução, retrata uma breve introdução histórica da origem dos detergentes e a ênfase da qualidade na evolução da produção. Também são descritas a contextualização, a motivação, o objetivo da dissertação, e o presente tópico, a estrutura da mesma.

No segundo capítulo, será feita a apresentação e caracterização da empresa, BIOSOG, S.A., descrevendo a sua missão, visão, política da qualidade, o processo de produção e o controlo da qualidade realizado nos produtos e processos.

No terceiro capítulo, Controlo e Melhoria da Qualidade, será abordada a evolução histórica e das definições da qualidade de forma cronológica, o controlo estatístico do processo com ênfase nas cartas de controlo, no qual também serão indicados os tipos de cartas de controlo, os pressupostos para a sua aplicação, e a análise da capacidade do processo. Posteriormente será apresentado o controlo estatístico do processo para pequenas produções. Este capítulo constitui assim uma abordagem teórica dos conceitos e métodos utilizados para a realização da parte prática da dissertação.

O quarto capítulo, Caso de Estudo, compreende a descrição da metodologia utilizada para a recolha, análise e tratamento dos dados para a implementação do controlo estatístico do processo, nomeadamente a implementação das cartas de controlo no processo de produção.

No quinto capítulo, Resultados e Discussão, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos.

No sexto capítulo, Conclusões, serão apresentadas as conclusões retiradas do estudo efetuado e são propostas recomendações para estudos futuros.

2. Capítulo 2

Neste capítulo efetua-se a caracterização da empresa onde se desenvolve o caso de estudo. Faz-se uma contextualização da empresa descrevendo a sua visão, a sua missão, política da qualidade e estrutura organizacional. Para além disso descreve-se também o processo produtivo da organização para melhor compreender a forma de produção dos detergentes e produtos de limpeza produzidos na organização.

2.1. Caraterização da Empresa

A BIOSOG, S.A., é uma empresa fundada em 2013, com sede localizada em Vila Nova de Famalicão, e dedica-se ao desenvolvimento, produção e comercialização de produtos químicos de limpeza e higienização para mercados institucionais e industriais, operando sobre o CAE 20411: Fabricação de sabões, detergentes e glicerina.

A fábrica da BIOSOG, S.A. localizada em Póvoa de Santa Iria (Figura 1), mas concretamente no Centro Industrial Solvay Portugal, tem como objetivo a constante inovação de produto e permanente desenvolvimento de novas soluções, garantindo eficiência e competitividade aos seus clientes.

Inserida no Grupo JALE, a BIOSOG, S.A., através das suas equipas comerciais e de gestão de clientes dos distribuidores, consegue prestar um serviço completo, desde o levantamento inicial de necessidades, entrega de produtos, assistência técnica, acompanhamento técnico e formação por parte da equipa da qualidade.

A empresa atua em vários segmentos de mercado, como a Hotelaria e Restauração (HORECA), Limpezas Profissionais, Indústria Agroalimentar e Saúde, tendo várias gamas de produtos, e desenvolvendo soluções industriais ao nível do desenvolvimento de produto, informação e requisitos legais, produção, armazenamento e distribuição, assistência técnica e tecnologias de doseamento.

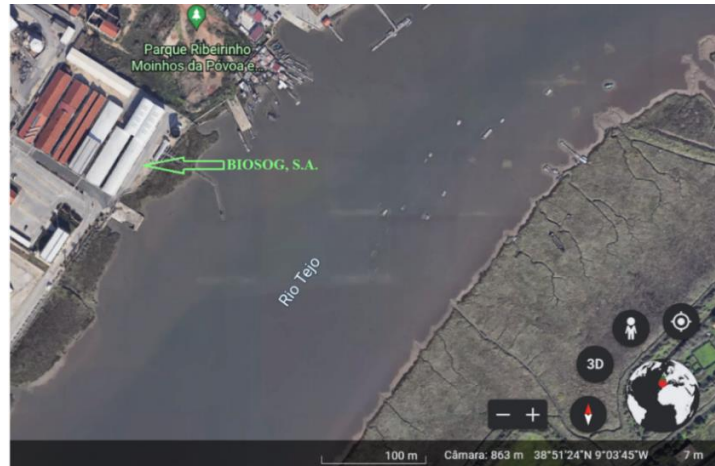


Figura 1 - Localização da Empresa BIOSOG, S.A.

(Adaptada de Google Earth, 2022)

2.1.1. Missão

A BIOSOG, S.A., tem por missão, desenvolver soluções de Higiene, Limpeza e Desinfecção, de acordo com as necessidades dos clientes, garantindo eficácia e segurança, de forma a minimizar o impacto ambiental dos produtos desenvolvidos e produzidos.

2.1.2. Visão

Ser o parceiro de negócio escolhido pelos clientes para a garantia de higiene, desinfecção e limpeza, atingindo um alto padrão de qualidade dos produtos desenvolvidos e eficiência dos serviços prestados. Ser considerado uma organização de referência pelas partes interessadas envolvidas nomeadamente por acionistas, clientes, colaboradores, fornecedores e estado.

A Figura 2 ilustra o logotipo da empresa.



Figura 2 - Logotipo da Empresa BIOSOG, S.A.

2.2. Política da Qualidade

A BIOSOG, S.A., apresenta a seguinte política da qualidade:

- Prestar serviços e produzir produtos de reconhecida qualidade e elevado grau de satisfação percebida pelos clientes e utilizadores;
- Manter um sistema de gestão da qualidade, segundo o modelo da Norma ISO 9001:2015 e requisitos aplicáveis;
- Proporcionar os recursos adequados ao cumprimento dos objetivos da organização;
- Assegurar um sistema de gestão participada, envolvendo todos os colaboradores na procura sistemática da melhoria contínua e inovação permanente;
- Incentivar e promover a qualificação e competência dos colaboradores, proporcionando formação e promovendo a criação, transmissão e aplicação das melhores práticas;
- Promover a difusão e compreensão da presente Política e das implicações funcionais, aos diferentes níveis da organização.

O funcionamento eficaz do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e dos seus processos resulta do contributo dos vários colaboradores, pelo que as responsabilidades se encontram claramente definidas e são conhecidas por todos na Organização.

O Sistema de gestão da qualidade (SGQ), da BIOSOG, S.A., está implementado e definido no âmbito do “desenvolvimento e produção de produtos e soluções de limpeza e desinfeção”. A definição do âmbito tem em consideração o contexto da organização, e a compreensão das necessidades e das expetativas das partes interessadas.

De acordo com o referido no manual da qualidade da empresa, é importante definir e gerir os processos que visam a alcançar os objetivos pretendidos, dado que os mesmos fornecem produtos e serviços adequados aos requisitos relevantes dos clientes e das outras partes interessadas. A identificação e determinação dos mesmos, teve como base o contexto interno e externo, os requisitos relevantes dos clientes e partes interessadas, o âmbito determinado para o SGQ, e o riscos e oportunidades. Conforme estipulado no manual, “A BIOSOG, S.A., definiu e gere os processos necessários para alcançar os objetivos pretendidos, usando uma abordagem sistémica de gestão. No âmbito do SGQ implementado, a BIOSOG, S.A., desenhou os processos necessários para alcançar os resultados pretendidos e definiu as suas interações. O desenho dos processos e das suas

interações encontra-se de acordo com a abordagem por processos da Norma NP EN ISO 9001:2015, tendo em consideração o ciclo PDCA (melhoria contínua) e o pensamento baseado no risco”.

O SGQ está assente em três processos, são eles:

- Processos de Gestão;
- Processos operacionais;
- Processos de suporte.

Os processos são suportados por fichas de processos, onde consta a informação necessária para a sua operacionalização. São também alvo de controlo, que é garantido através de procedimentos, instruções de trabalho, planos de controlo, critérios e métodos.

Os processos do SGQ são apresentados, na Figura 3, no mapa de processos, onde estão representadas as interações entre eles:

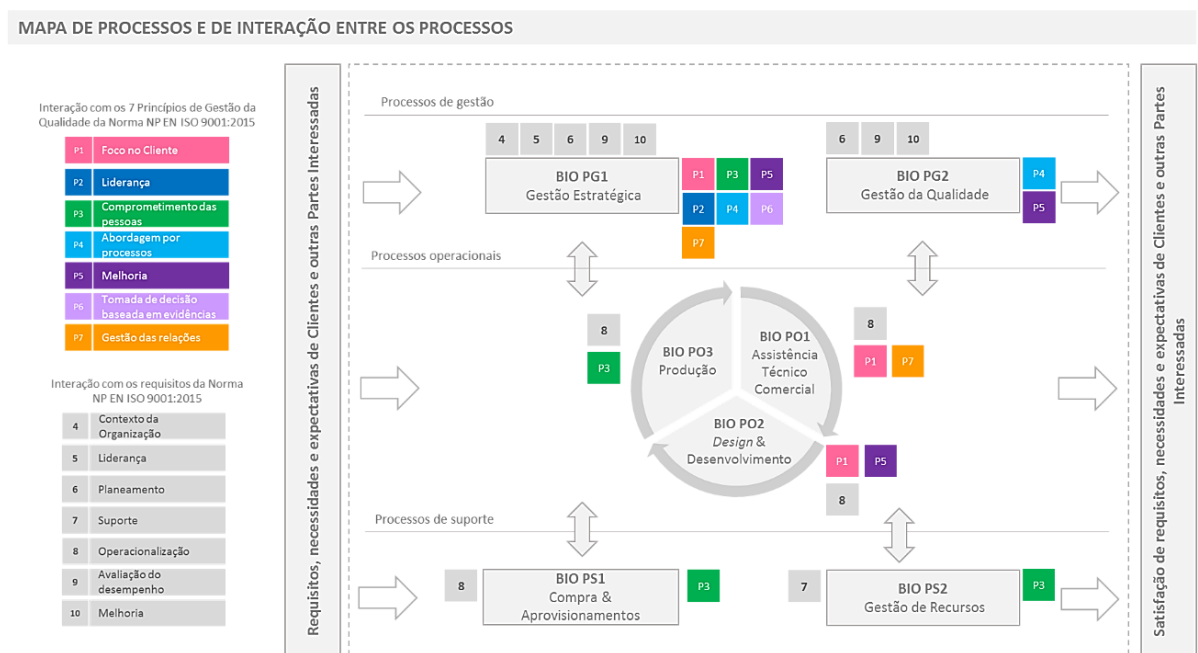


Figura 3 - Mapa de processo e de interação entre eles.

De modo a compreender melhor os processos, os mesmos são descritos de seguida:

Processo de gestão – Processo responsável por traçar as grandes orientações que permitem à BIOSOG, S.A., modificar, melhorar ou fortalecer a sua posição face à concorrência.

Processo operacional – Processo relacionado com a produção e disponibilização de bens e serviços que a BIOSOG, S.A., coloca no mercado.

Processo de suporte – Processo responsável por entregar valor a outros processos, e não diretamente para os clientes.

A estrutura de recursos humanos técnicos visa permitir, por um lado, melhorar continuamente os seus produtos e, por outro lado, responder de forma rápida as solicitações dos clientes que necessitam de desenvolvimento de produtos específicos (*time-to-market*).

A abordagem é realizada em 5 fases:

- Investigação;
- Formação;
- Produção laboratorial;
- Primeira Produção;
- Cumprimentos/aplicabilidade de requisitos legais.

Cada umas destas fases estão sujeitas à verificação laboratorial interna e externa que permitem a validação dos produtos desenvolvidos.

2.3. Estrutura Organizacional

A estrutura organizacional da empresa encontra-se apresentada na Figura 4 onde se pode observar, o organograma com a estrutura funcional da organização. No organograma é possível visualizar a estrutura completa com a apresentação da hierarquia e de como os departamentos se relacionam entre si.

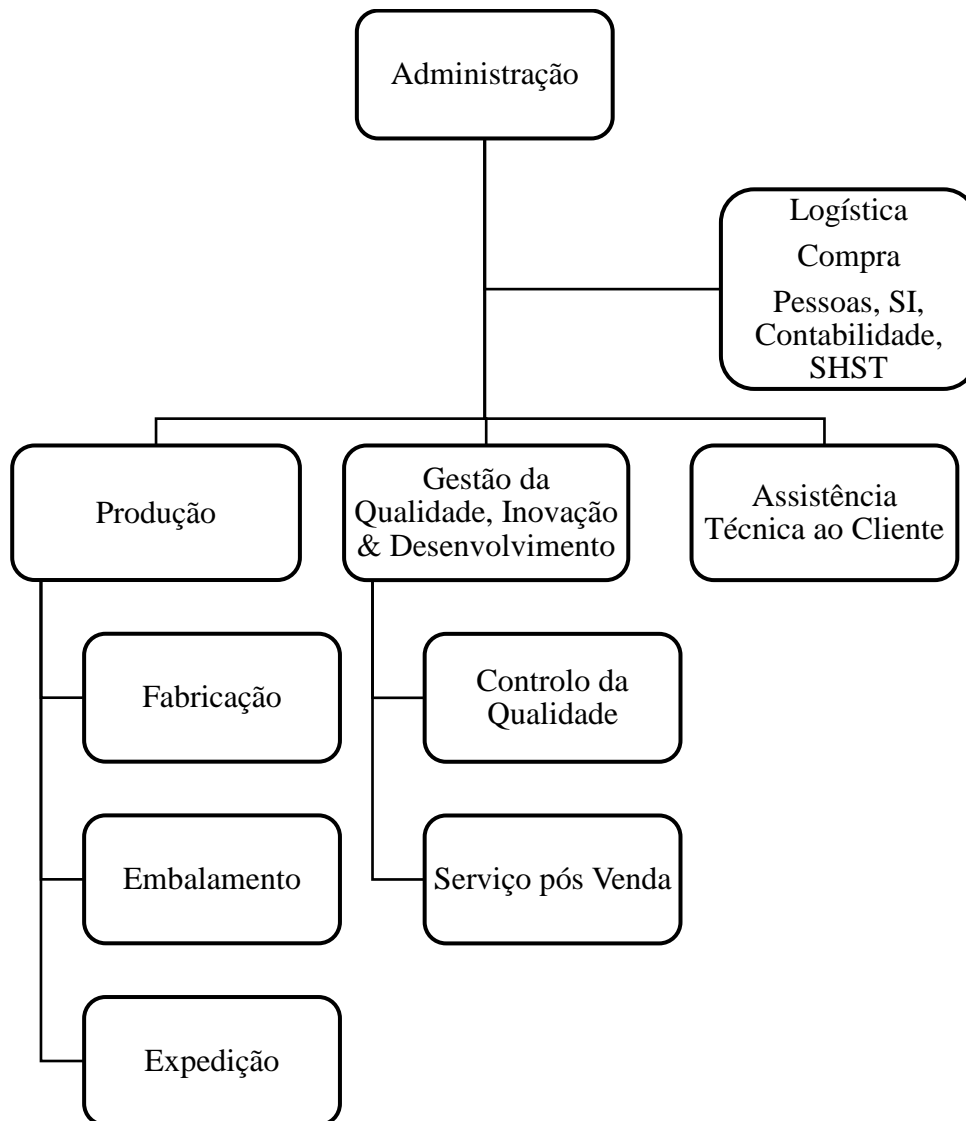


Figura 4 - Estrutura organizacional da empresa.

(Adaptada de Lopes et al., 2022)

2.4. Processo de produção

O fabrico de detergentes e produtos de higiene e limpeza na BIOSOG, S.A., é um processo operacional que envolve um conjunto de atividades e recursos detalhadamente planeados, sendo que a sua gestão é feita recorrendo à ferramenta de gestão SAP.

O processo tem início com a receção das matérias-primas que entram na composição dos produtos, seguindo-se a fabricação dos produtos, enchimento, embalagem e expedição do produto final.

A BIOSOG, S.A. está capacitada para a produção de detergentes líquidos, viscosos e em pó. A produção de detergentes líquidos e viscosos realiza-se em reatores de diferentes capacidades, adequados às quantidades necessárias de cada produto.

O maior reator presente na fábrica é o de 5T, usado normalmente para produção de produtos viscosos e também lava-tudo. Este reator tem admissão direta de água desmineralizada e de algumas das matérias-primas necessárias ao processo. As restantes matérias-primas são pesadas nas balanças presentes na zona de produção, com exceção do corante, que é pesado na balança do laboratório. O reator está equipado com uma célula de carga tem recirculação e dois agitadores, garantindo desta forma uma mistura homogénea.

Existem também na fábrica, um reator de 2T, outro de 3T e ainda um reator de 1,5T para produções de vários produtos líquidos de naturezas alcalina e neutra. Estes reatores estão equipados com células de carga funcionando em dosagem por adição dupla de peso. A matéria-prima com admissão direta é apenas a água desmineralizada, sendo as restantes matérias-primas pesadas nas balanças da zona de produção. Separadamente da zona de produção encontram-se as zonas de rotulagem, enchimento e expedição. O enchimento dos produtos pode ser manual, semi-automático ou automático. Existe uma linha de enchimento automático que apenas necessita que seja inserido no início da linha os jerricans e do outro lado da linha obtém-se o produto já rotulado e codificado, pronto a paletizar e envolver com filme estirável com máquinas de filmar paletes. Os produtos podem ser embalados em formatos de 100mL até 1000L.

O processo de fabrico cuja descrição se encontra na seção 2.4.2 realiza-se em diferentes etapas no qual inicialmente é feito o planeamento para o mês que se pretende realizar o fabrico, de seguida é efetuado o programa diário de fabricação, caso as matérias-primas (MP) e o material de embalagem (ME) necessários não se encontram disponíveis no stock é feito a colocação de pedido de compra de matéria-prima/material de embalagem, posteriormente é realizada a fabricação do produto intermédio (PI), seguida do embalamento produto acabado (PA) e por fim a venda, expedição & faturação.

Das etapas mencionadas anteriormente encontram-se descritas nos tópicos abaixo as etapas de fabricação do produto intermédio e embalamento do produto acabado.

2.4.1. Fabricação do produto intermédio

O Software interno usado pela empresa analisa a necessidade de fabricar produto intermédio, verificando se existe a quantidade suficiente para satisfazer a quantidade de produto acabado do Pedido de Compra. Não existindo stock suficiente de produto intermédio e existindo em stock matéria-prima disponível para responder ao Pedido de Compra, a Ordem Planeada de produto intermédio é convertida em Ordem de Produção. É impressa a Lista de Objetos relativa à fabricação de produto intermédio. Após fabricação, o Controlo da Qualidade Laboratorial (CQL) analisa a conformidade do produto, de acordo com o procedimento descrita no subcapítulo 2.5.1, e confirma a Ordem de Produção.

2.4.2. Embalamento Produto Acabado

Após confirmação que existe em stock produto intermédio, as Ordens Planeadas de produto acabado são convertidas em Ordens de Produção. A quantidade de produto a embalar, corresponde (no mínimo) à quantidade necessária para satisfazer o Pedido de Compra. É impressa a Lista de Objetos relativa ao embalamento de PA. Durante e após o embalamento, o CQL analisa a conformidade do produto, de acordo com o procedimento descrita no subcapítulo 2.5.2.

Para uma melhor compreensão das linhas de enchimento apresenta-se na Figura 5 a linha de enchimento manual para todos os formatos. Na linha de enchimento manual começa-se com a codificação das embalagens, seguida da atividade de rotulagem das embalagens. Estas após codificadas e rotuladas são cheias e seladas com as respetivas tampas, seguindo-se a atividade de embalamento e colocação do filme retrátil após paletização.

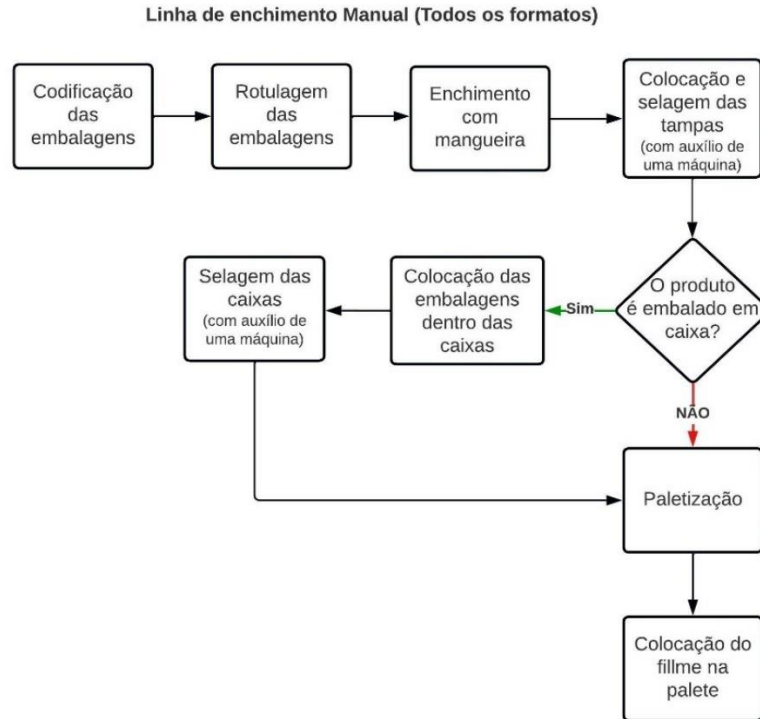


Figura 5 - Fluxograma do processo da linha de enchimento manual.

(Elaboração própria com base nas informações fornecidas pela empresa)

Na Figura 6 pode-se observar a linha de enchimento manual onde é possível verificar como decorre o processo de enchimento das embalagens.

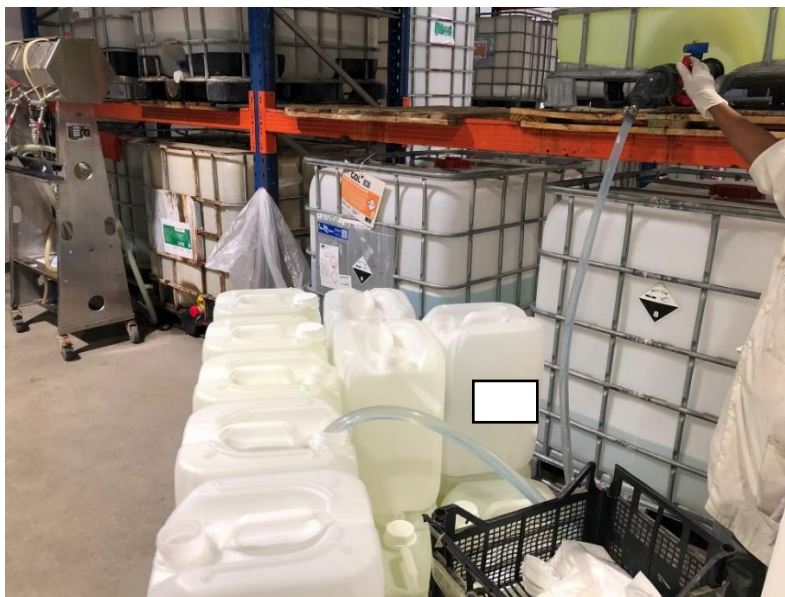


Figura 6 - Linha de enchimento manual.

Para além da linha de enchimento manual existe também a linha de enchimento semi-automático para embalagens de 2L, 5L, 10L e 20L respetivamente. O fluxograma da linha de enchimento semi-automático encontra-se patente na Figura 7 e a principal diferença relativamente á linha manual é a forma de enchimento que é realizado pela própria máquina de enchimento. Na Figura 8 pode-se observar como decorre o processo de enchimento neste processo semi-automático.

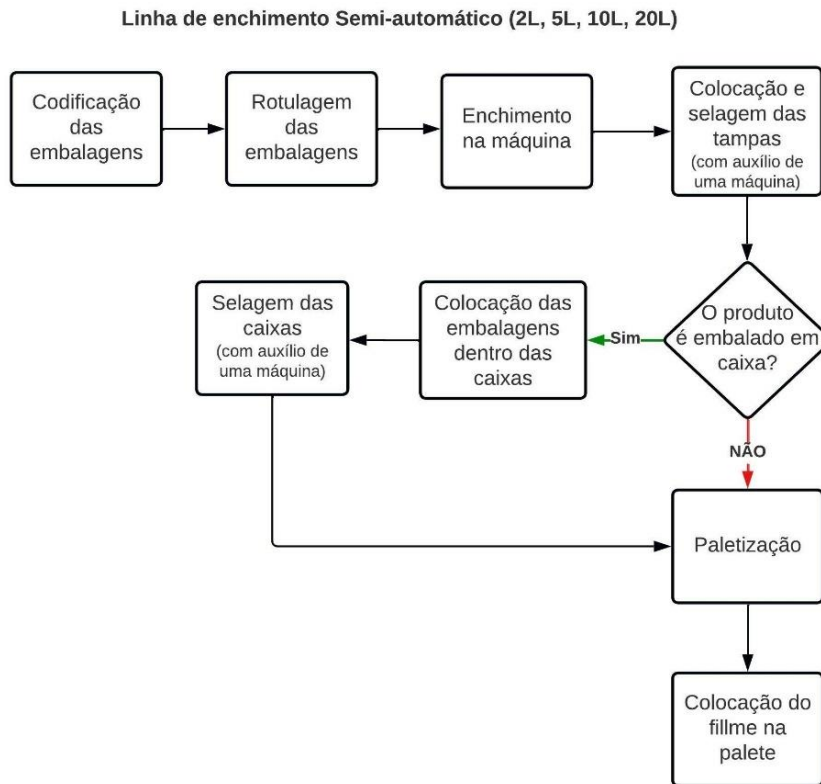


Figura 7 - Fluxograma do processo da linha de enchimento semi-automático.

(Elaboração própria com base nas informações fornecidas pela empresa)



Figura 8 - Linha de enchimento semi-automático.

Na Figura 9 está representado o fluxograma do processo de enchimento semi-automático (0,75L, 1L) & automático (5L, 10L, 20L).

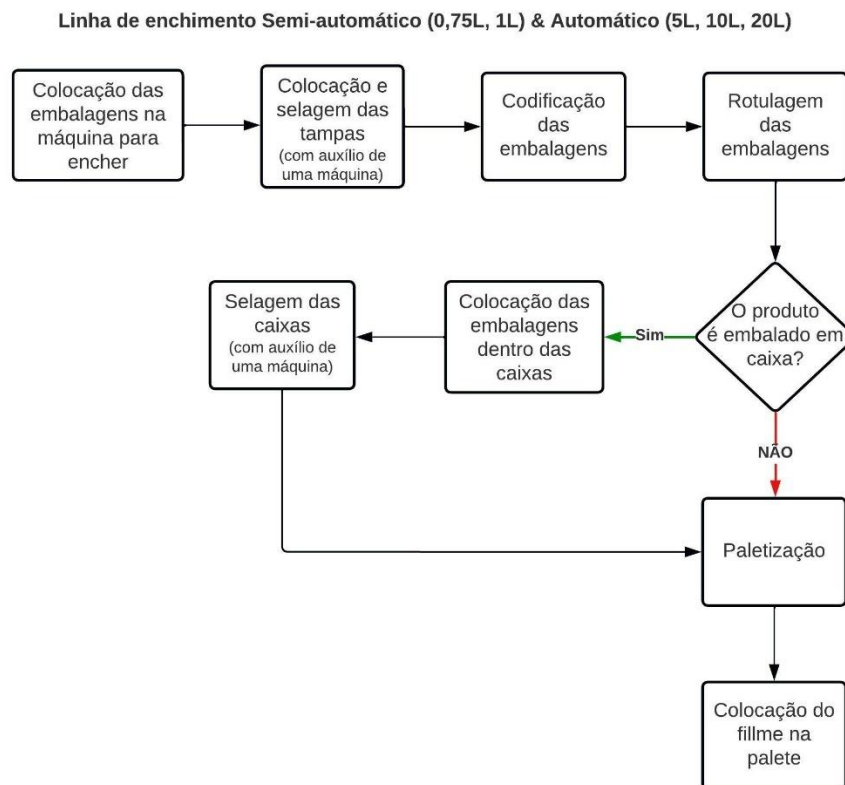


Figura 9 - Fluxograma da linha de enchimento semi-automático e automático.

(Elaboração própria com base nas informações fornecidas pela empresa)

Na Figura 10 pode-se observar de perto a atividade que decorre na linha de enchimento automático.



Figura 10 - Linha de enchimento automático.

O fluxograma geral do processo de fabrico encontra-se na Figura 11. A produção inicia-se com o programa diário de fabricação, seguido do processo de compra de matérias-primas (MP) e materiais de embalagem (ME). Após este passo segue-se a fabricação de produto intermédio, seguido da operação de embalagem do produto acabado onde se efetuam as operações de enchimento dos vários tipos de embalagens, segundo o processo manual, semi-automático e automático. Esta é a fase onde o caso de estudo se insere com a aplicação de ferramentas da qualidade (cartas de controlo) para monitorizar e melhorar o processo de enchimento do produto acabado. Finalmente vem a fase de venda, expedição e faturação.

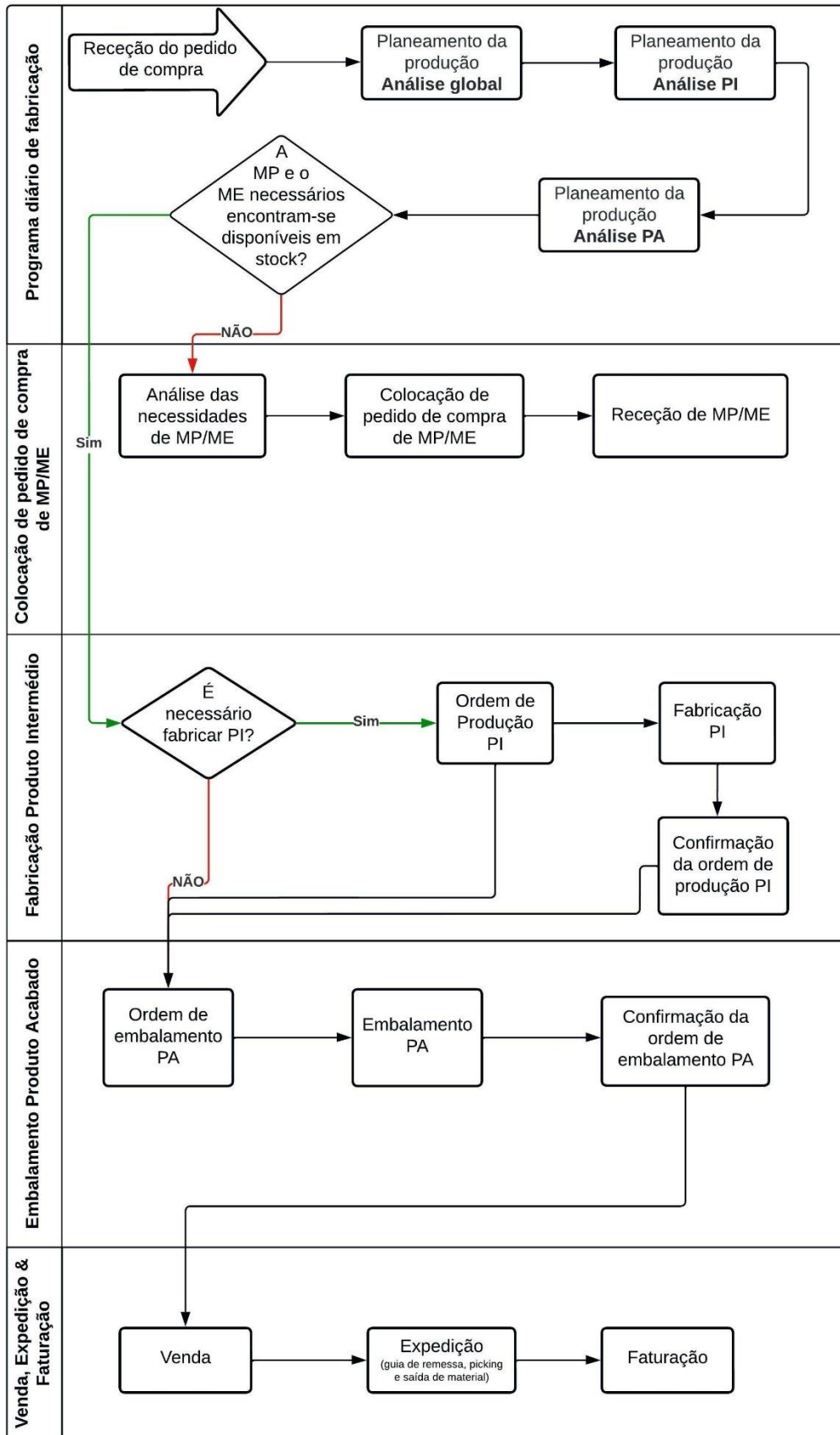


Figura 11 - Fluxograma do processo de fabricação.

(Elaboração própria com base nas informações fornecidas pela empresa)

2.5. Controlo da qualidade

O Laboratório de Controlo da Qualidade da BIOSOG, S.A. encontra-se integrado na área de Investigação e Desenvolvimento, dependendo o seu responsável, hierarquicamente do responsável da área de Investigação e Desenvolvimento, conforme se visualiza no organograma apresentado na Figura 12.

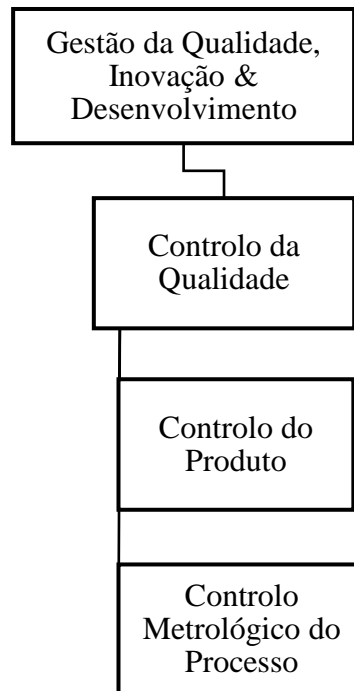


Figura 12 - Organograma da Gestão da Qualidade, Inovação & Desenvolvimento.

(Adaptada de Lopes et al., 2022)

O Controlo da Qualidade (CQ) é realizado por técnicos habilitados em laboratório interno e externo. O responsável do Laboratório de Controlo da Qualidade é responsável por:

- Controlar a qualidade dos produtos antes, durante e após a fabricação dos produtos;
- Aplicar os planos de controlo definidos, realizando as análises e os ensaios necessários ao **Controlo de Receção**, ao **Controlo em curso de Fabricação** e ao **Controlo dos Produtos Fabricados**;
- Desenvolver e elaborar os métodos de ensaio em utilização no laboratório, assim como os modos operatórios de utilização dos recursos do laboratório;
- Manter a organização do laboratório e a operacionalidade dos seus recursos;

- Cumprir o definido no plano de calibração e verificação dos dispositivos de medição e ensaio, tanto do laboratório como das linhas de fabricação;
- Proceder á análise de problemas correspondentes a Não Conformidades relacionados com os materiais e produtos, independentemente da sua fase de fabricação (matérias-primas, materiais de embalagem, rótulos, produto em curso de fabricação e produto final);
- Participar na análise técnica correspondente às reclamações cliente com origem no produto;
- Analisar os resultados dos ensaios realizados por entidade externa, estabelecendo correlação com resultados internos do laboratório;
- Participar nos ensaios de desenvolvimento de novos produtos.

Aquando da fabricação de produto, o CQL realiza o Controlo da Qualidade de Produto Intermédio de acordo com o definido no Plano de Controlo e, verificando-se Conformidade, este é aprovado para embalagem. Em caso de Não Conformidade procede-se às retificações necessárias repetindo-se o ciclo até se obter Conformidade (Figura 13).

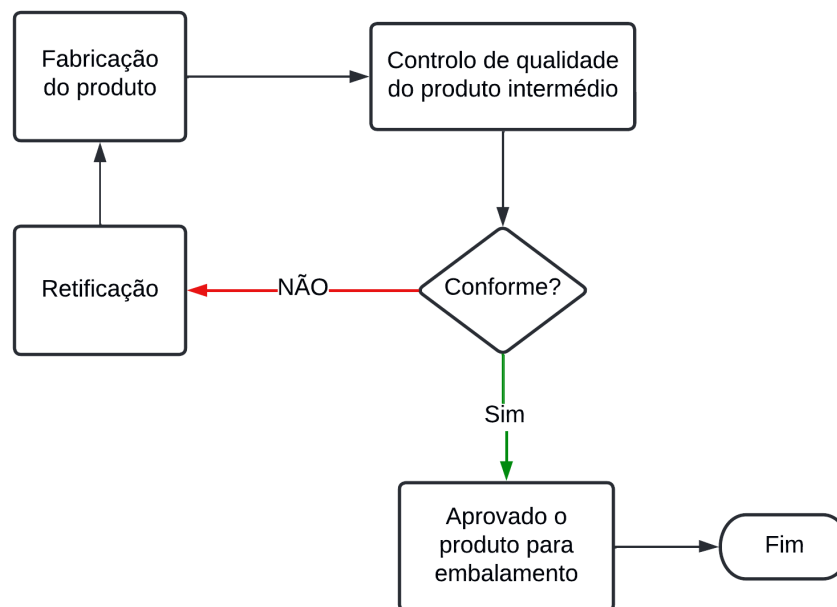


Figura 13 - Fluxograma do controlo da qualidade do produto intermédio.

(Adaptada de Lopes et al., 2022)

Durante o Enchimento do Produto, o CQL realiza o Controlo da Qualidade de Pré-Embalados de acordo com o definido no Plano de Controlo e, verificando-se Conformidade, este segue para paletização. Ao verificar-se Não Conformidade são efetuadas as devidas retificações para obtenção de Conformidade (Figura 14).

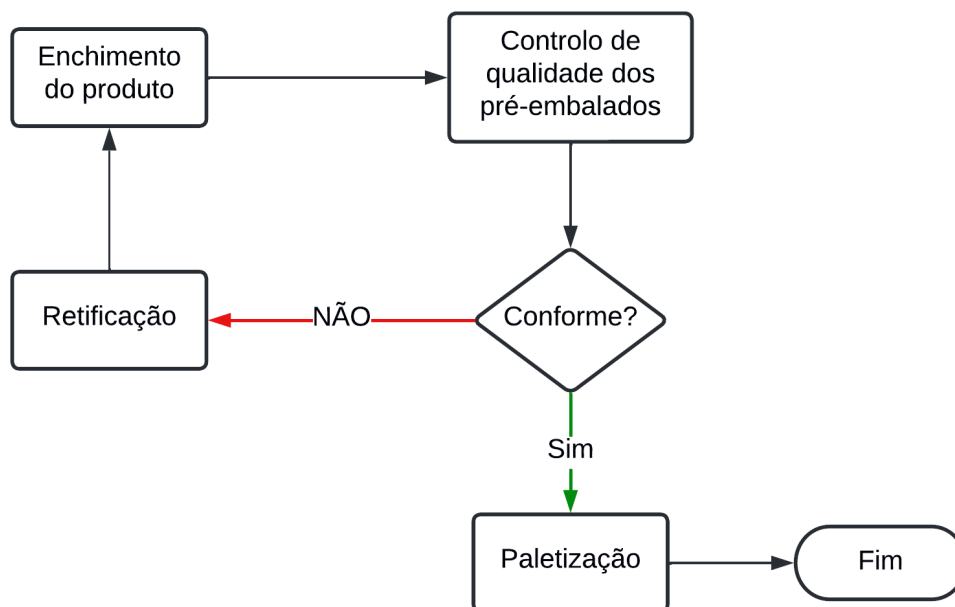


Figura 14 - Fluxograma do controlo da qualidade pré-embalados.

(Adaptada de Lopes et al., 2022)

2.5.1. Controlo da qualidade em curso de fabricação – Produto Intermédio

Recolha de amostra do produto em curso de fabricação

Aquando da Fabricação de cada produto é necessária a realização, no Laboratório, de diferentes tarefas, entre elas, a neutralização da pasta sulfonada, pesagem matérias-primas que entram nas formulações em pequenas quantidades (por exemplo: corantes), Controlo das características organoléticas, físicas e químicas.

Neutralização da Pasta Sulfonada

Entende-se por neutralização a adição de matéria-prima (ácida ou básica) de modo que o pH da amostra do produto em curso de Fabricação se mantenha dentro dos limites estabelecidos na Folha de Fabrico/Lista de Especificações. É feito o registo das

quantidades adicionadas e o pH subsequente na secção “Correções” do Boletim de Análise.

Pesagem de Matérias-Primas

A pesagem de Matérias-Primas engloba a pesagem pelo CQL, para posterior adição ao produto em curso de fabricação, de corantes, anti espuma, entre outros.

Controlo Laboratorial do Produto Intermédio:

Análises

No final da Fabricação é recolhida uma amostra para o Laboratório de Controlo da Qualidade e são realizados os ensaios laboratoriais conforme especificado e de acordo com os Métodos Operatórios respetivos. Esta amostra é guardada pelo período de um ano como amostra testemunha para efeitos de rastreabilidade.

Verificação e Correção

Após realização dos ensaios laboratoriais pertinentes, o CQL avalia a conformidade.

- a) Conforme – O CQL preenche o Boletim de Análise (que integra a Folha de Fabrico) evidenciando a Conformidade do Produto Fabricado.
- b) Não Conforme – O CQL regista o erro comparativamente à especificação e requiere à Fabricação as devidas retificações. A Fabricação efetua as correções indicadas e regista na Folha de Fabrico o consumo real de matérias-primas. O CQL volta a realizar os devidos ensaios, repetindo-se o ciclo até se obter conformidade.

2.5.2. Controlo da qualidade - Produto Acabado

Controlo da qualidade em embalagem primária

O produto intermédio durante a operação de embalamento está sujeito a dois tipos de Controlo da Qualidade:

- Controlo da Qualidade em curso de embalamento (aplica-se à embalagem primária, secundária e paletização);

- Controlo Metrológico dos produtos pré-embalados (relativo apenas às embalagens primárias).

O CQL durante a operação de embalagem efetua o controlo e no caso de detetar uma não conformidade, é realizada a recuperação imediata do produto. Durante toda a operação é realizado autocontrolo por parte dos operadores.

Controlo Metrológico do Processo

Diariamente, o controlo da qualidade faz avaliação das características referidas no Controlo da Qualidade das Operações de Embalagem (Figura 16) e faz o controlo de pesagem (Figura 15), tendo em conta os limites de aceitação e rejeição (estabelecidos no Decreto-Lei nº 310/91 e Portaria 1198/91). A Inspeção envolve o controlo não destrutivo de um conjunto de características físicas bem como o aspeto e condições da embalagem. Cada variável ou atributo deve ser classificado conforme definido no Controlo da Qualidade das Operações de Embalagem e o seu valor registado. Toda e qualquer característica à qual é atribuído grau 3 ou mais dá origem à classificação de lote como não conforme. Neste caso, o controlo de qualidade informa a produção e emite o registo de não conformidade e o produto é encaminhado para a zona de produto não conforme.



Figura 15 - Registo do controlo de pesagem.

- A - Marcas, defeitos e sujidades (5.1.1)
- B - Estanticidade das embalagens / selagem (5.1.4)
- C - Marcação de códigos nas embalagens (5.1.5)
- D - Rotulagem das garrafas / Embalagens Cápsulas (5.1.6)
- E - Capsulagem (5.1.7)
- F - Controlo Câmara Vazia Embalagem Primária (5.1.8)
- G - Acondicionamento dos pré-embalados (5.1.9)
- H - Marcação de códigos na caixa de cartão canelado (5.1.10)
- I - Colagem das caixas de cartão canelado (5.1.11)
- J - Aspecto das caixas de cartão canelado (5.1.12)
- L - Paletização das unidades colectivas (5.1.13)

NA	0	1	2	3	4	5

Nota: A classificação encontra-se descrita em BIO IE 3-1, na qual 0 corresponde à situação mais favorável e 5 à situação mais desfavorável

Conforme:

Não Conforme:

Data:

Resp.:

Figura 16 - Controlo da qualidade das operações de embalagem.

(Retirada de Lopes et al., 2022)

Controlo da qualidade em embalagem secundária

No caso de operações que envolvam o embalamento em caixa de cartão canelado (CCC), isto é, embalagem secundária, aplica-se o descrito na instrução Controlo da Qualidade das Operações de Embalagem. O CQL durante a operação de embalamento efetua o controlo e no caso de detetar uma não conformidade, é realizada a recuperação imediata do produto. Durante toda a operação é realizado autocontrolo por parte dos operadores.

Controlo da qualidade da paletização

A embalagem final é paletizada e sujeita ao controlo descrito na instrução do Controlo da Qualidade das Operações de Embalagem. O registo de Controlo da Qualidade da operação da embalagem é realizado diretamente na lista de objetos de PA, através do preenchimento do quadro (carimbo) com as características a controlar.

Na Figura 17 encontra-se o fluxograma do controlo da qualidade do produto acabado.

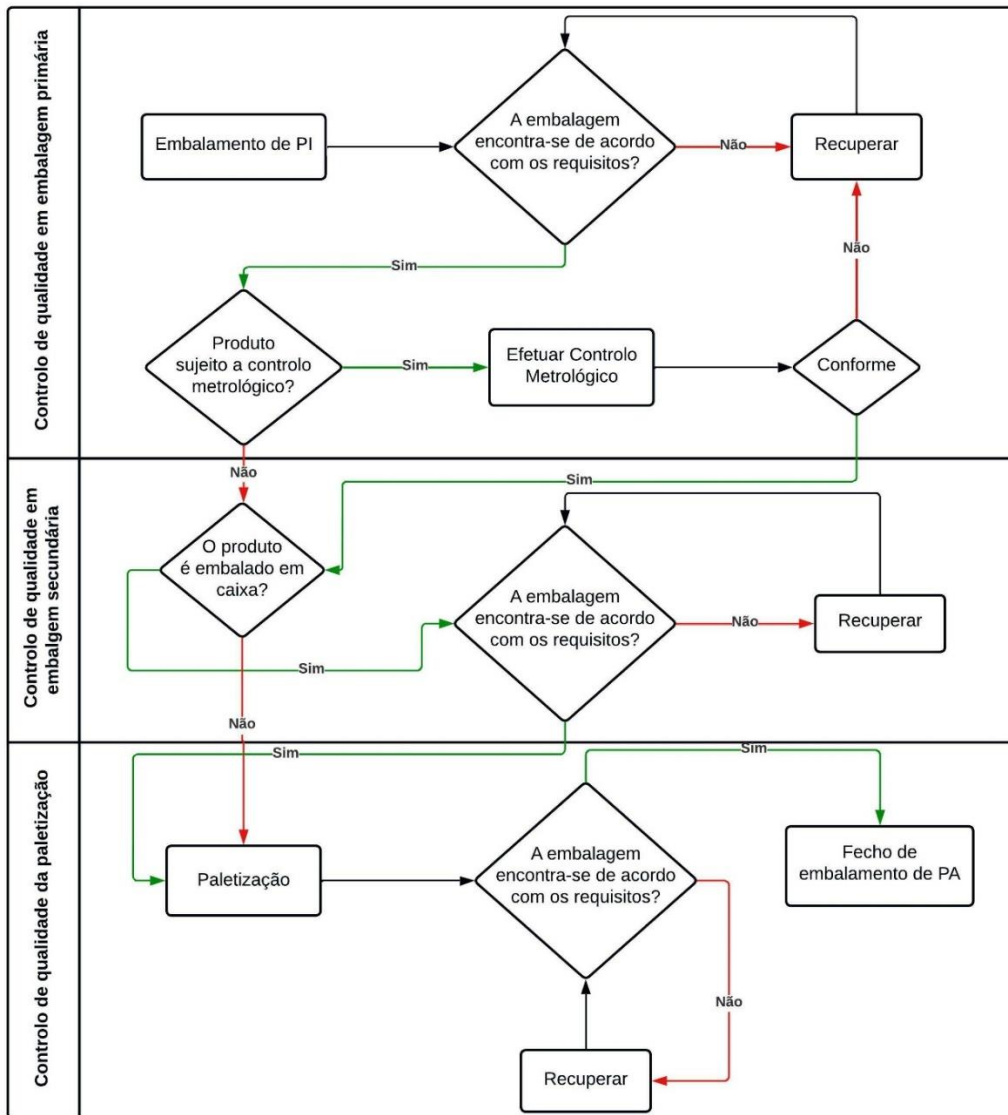


Figura 17 - Fluxograma - controlo da qualidade - produto acabado.

(Elaboração própria com base nas informações fornecidas pela empresa)

3. Capítulo 3 – Controlo e melhoria da qualidade

Neste capítulo faz-se um enquadramento da qualidade e da sua evolução histórica, bem como do controlo estatístico do processo com as principais ferramentas básicas da qualidade. Dá-se especial relevo às cartas de controlo e à base estatística que está subjacente à construção dos principais tipos de cartas de controlo uma vez que estas serão as principais ferramentas a utilizar no caso de estudo.

3.1. Evolução histórica da qualidade

A Qualidade está presente na vida do ser humano desde os primórdios, onde o homem estava preocupado com a sua alimentação e segurança, assim iniciou o cultivo de plantas e a confeção de ferramentas para caçar, que foram aprimoradas com o tempo. A China foi uma das primeiras civilizações a desenvolver e o artesanato foi uma das atividades que mais chamaram a atenção do mundo devido a sua durabilidade, praticidade e bom gosto desenvolvidos no produto, pois os artesões eram conhecidos por realizar obras de grande complexidade e dominarem o ciclo total de produção (De Souza, 2015).

No sentido mais lato, qualidade é aquilo que acrescenta valor, aquilo que torna as nossas vidas melhores. Antes de tentarmos gerir a qualidade, devemos tentar compreender a nossa experiência de qualidade (Kemp, 2006).

A qualidade dos bens produzidos e dos serviços prestados tem sido monitorizada, direta ou indiretamente, desde tempos imemoriais. No entanto, a utilização de uma base quantitativa envolvendo princípios estatísticos para controlar a qualidade é um conceito moderno (Duffy, 2013).

Durante a Idade Média e até ao século XIX, a produção de bens e serviços estava confinada predominantemente a uma única pessoa ou a um pequeno grupo. Os grupos eram frequentemente empresas familiares, pelo que a responsabilidade de controlar a qualidade de um produto ou serviço recaía sobre essa pessoa ou pequeno grupo. Esta fase, abrangendo o período de tempo até 1900, foi titulada por Feigenbaum (1983) como o período de controlo da qualidade do operador (Mitra, 2012).

No início do século XIX até aproximadamente 1920, avançou-se para a fase do controlo da qualidade do encarregado (Feigenbaum, 1983).

Com a Revolução Industrial surgiu o conceito de produção em massa, que se baseava no princípio de especialização de mão-de-obra. Uma pessoa já não era responsável pela produção completa de um produto, mas apenas por uma parte dela. Uma desvantagem desta abordagem foi a diminuição do número de trabalhadores. No entanto, a maioria das tarefas ainda não eram muito complicadas, e os trabalhadores tornaram-se qualificados nas operações particulares que realizavam (Mitra, 2012).

Este período assistiu ao advento em grande escala do conceito moderno da fábrica, no qual os indivíduos que executavam uma tarefa semelhante eram agrupados para que pudessem ser orientados por um encarregado que então assumia a responsabilidade pela qualidade do seu trabalho (Feigenbaum, 1983).

Nos anos que se seguiram à Revolução Industrial, o processo de fabrico tornou-se mais complexo e os trabalhos tornaram-se mais especializados, introduzindo assim a necessidade de inspecionar a qualidade dos produtos após o fabrico. Os gestores das fábricas criaram departamentos de inspeção para evitar que os produtos defeituosos chegassem aos clientes, uma prática que se centrava mais nos resultados finais do que no processo de fabrico (Kolb & Hoover, 2012).

Foram estabelecidas normas, em que os inspetores comparavam a qualidade do produto com as referidas normas, em caso de discrepâncias entre eles, os produtos defeituosos ou não conformes eram retrabalhados, se possível, ou descartados (Mitra, 2012).

Em 1924, Walter A. Shewhart da *Bell Telephone Laboratories* desenvolveu as cartas de controlo para o controlo das variáveis do produto no fabrico. Trabalhando ao lado de Shewhart e contribuindo para as suas ideias, H.F. Dodge e H.G. Romig, ambos dos *Bell Telephone Laboratories*, nos finais de 1920, desenvolveram a área de aceitação amostragem como um substituto para a inspeção total da qualidade do produto (Kolb & Hoover, 2012).

Esta fase, entre 1920 e 1940, segundo Feigenbaum, e ficou conhecida como a fase de inspeção no controlo da qualidade (Feigenbaum, 1983).

Devido às exigências de produção em massa da Segunda Guerra Mundial, surgiu a próxima fase da evolução denominada de controlo estatístico da qualidade, que segundo Feigenbaum (1983), decorreu entre 1940 e 1960 (Mitra, 2012).

Esta fase foi uma extensão da fase de inspeção e se resumiu a tornar as grandes organizações de inspeção mais eficientes. Foram fornecidas aos inspetores algumas ferramentas estatísticas, tais como gráficos de amostragem e de controlo. A contribuição mais significativa do controlo estatístico da qualidade foi o facto de ter proporcionado uma inspeção por amostragem em vez de uma inspeção a 100% (Feigenbaum, 1983).

Embora sofrendo danos generalizados durante a Segunda Guerra Mundial, o Japão abraçou a filosofia do controlo estatístico da qualidade. Quando W. Edwards Deming visitou o Japão e deu lições sobre estas novas ideias em 1950, engenheiros e gestores de topo japoneses convenceram-se da importância do controlo estatístico da qualidade como uma vantagem competitiva no mercado mundial. J. M. Juran, outro pioneiro no controlo da qualidade, visitou o Japão em 1954 e impressionou-os ainda mais com o papel estratégico que a gestão desempenha na realização de um programa de qualidade. Os japoneses perceberam rapidamente os efeitos profundos que estes princípios teriam no futuro dos negócios, e comprometeram-se fortemente com um programa maciço de formação e educação (Mitra, 2012) (Montgomery, 2013).

A fase seguinte, segundo Feigenbaum, a fase do controlo total da qualidade, decorreu nos anos sessenta (Feigenbaum, 1983).

Uma característica importante durante esta fase foi o envolvimento gradual de vários departamentos e gestores no processo de controlo da qualidade. Anteriormente, a maioria destas atividades eram tratadas por *shop floor*, pelo encarregado da produção, ou por pessoas do departamento de inspeção e controlo da qualidade (Mitra, 2012).

No entanto, na década de 1960, houve algumas mudanças nesta atitude. As pessoas começaram a perceber que cada departamento tinha um papel importante a desempenhar na produção de um item de qualidade. O conceito de zero defeitos, que se centrava na obtenção de produtividade através do envolvimento dos trabalhadores, surgiu durante este período (Duffy, 2013).

O advento dos anos setenta trouxe aquilo que Feigenbaum (1983) denominou a fase de controlo organizacional total da qualidade, que envolveu a participação de todos na empresa, desde o operador até ao supervisor de primeira linha, gestores, vice-presidente, até ao diretor executivo. A qualidade estava associada a cada pessoa. Como esta noção continuou na década de 1980, foi denominada por Feigenbaum (1983) o sistema de gestão pela qualidade total.

No Japão, os anos 70 marcaram a utilização alargada de uma ferramenta gráfica conhecida como o diagrama de causa e efeito. Esta ferramenta foi introduzida em 1943 por K. Ishikawa e é por vezes denominada diagrama de Ishikawa. Também é chamado diagrama de espinha de peixe devido à sua semelhança com um peixe.

Este diagrama ajuda a identificar possíveis razões para um processo ficar fora de controlo, bem como possíveis efeitos sobre o processo. Tornou-se uma ferramenta importante na utilização de cartas de controlo porque ajuda na escolha da ação apropriada a tomar no caso de um processo estar fora de controlo. Também nesta década, G. Taguchi do Japão introduziu o conceito melhoria de qualidade através de desenhos estatísticos de experiências.

Nos anos 80, as campanhas publicitárias dos EUA colocaram o controlo da qualidade no centro das atenções. Os consumidores foram bombardeados com anúncios relacionados com a qualidade do produto, e foram feitas comparações frequentes com os dos concorrentes. Estes esforços promocionais tentaram apontar certas características do produto que eram superiores às de produtos semelhantes. Dentro da indústria, a consciência da importância da qualidade estava a começar a evoluir a todos os níveis. A gestão de topo viu a necessidade crítica da união da filosofia da qualidade com a produção de bens e serviços em todas as fases, começando pela determinação das necessidades do cliente e conceção do produto e continuando com a garantia do produto e o serviço ao cliente.

À medida que a utilização de computadores explodiu durante a década de 1980, surgiu no mercado muitos programas de *software* de controlo da qualidade. A noção de um sistema de qualidade total aumentou a ênfase em controlo da qualidade do fornecedor, garantia da conceção do produto, auditoria da qualidade do produto e do processo, e áreas afins. Grandes industriais tais como a *Ford Motor Company* e a *General Motors Corporation* adotou a filosofia da qualidade e deu passos em frente na implementação de métodos de controlo estatísticos da qualidade. Eles, por sua vez, pressionaram outras empresas a utilizar técnicas de controlo da qualidade.

Por exemplo, a *Ford* exigiu documentação de controlo estatístico do processo aos seus fornecedores, assim, as pequenas empresas que não tinham utilizado anteriormente os métodos de controlo estatístico da qualidade eram forçados a adotar estes métodos para manterem os seus contratos. A importância estratégica do controlo e melhoria da

qualidade foi formalmente reconhecido nos Estados Unidos através do Prémio Nacional da Qualidade *Malcolm Baldrige* em 1987.

A ênfase na satisfação do cliente e na melhoria contínua da qualidade a nível mundial criou a necessidade de um sistema de normas e diretrizes que apoiem a filosofia da qualidade. A Organização Internacional de Normalização (ISO) desenvolveu um conjunto de normas, ISO 9000-9004, no final da década de 1980. O *American National Standards Institute* (ANSI) e o *American Society for Quality Control* (ASQC) trouxeram as suas normas em conformidade com as normas ISO quando desenvolveram o ANSI/ASQC Q90-Q94 em 1987, que foi subsequentemente revisto em 1994 para ANSI/ASQC Q9000-Q9004, e ainda em 2000, para ANSI/ISO/ASQ Q9000-2000. As normas ISO 9000-9004 foram também revistas em 1994, 2000, e 2008.

A partir da última década do século XX e continuando até ao século atual, o mundo tem visto a evolução de uma era de tecnologia da informação. Esta é a maior revolução desde a Revolução Industrial do final do século XVIII. O século XXI está a sofrer a sua revolução na tecnologia da informação digital, utilizando a tecnologia sem fios. Tais avanços promovem a manutenção e a proteção da qualidade da informação, enquanto fornecem dados de uma forma eficaz. Além disso, os avanços na tecnologia computacional tornaram viável a resolução, de forma atempada, de problemas complexos e/ou de grande escala para serem utilizados na tomada de decisões. Além disso, a Internet é parte integrante da nossa vida quotidiana (Mitra, 2012).

Em 2011, um novo termo foi introduzido na evolução da qualidade, a Qualidade 4.0.

A Qualidade 4.0 corresponde à crescente digitalização da indústria, que usa tecnologias avançadas para aprimorar a qualidade do fabrico e dos serviços. Esta quarta revolução da qualidade visa digitalizar todos os sistemas de qualidade e, conseqüentemente, melhorar as abordagens de qualidade existentes. Indústrias inovadoras adotam inovações de qualidade 4.0 baseadas em nuvem no processo de produção controlado. Ele é usado para resolver problemas de qualidade de forma satisfatória quando surgem, e realizar análises de qualidade em tempo real para melhorar a competitividade e utilizá-los.

Vários desafios contínuos são assumidos pelas tecnologias Qualidade 4.0, como análise automática de causa raiz, conectividade máquina-máquina para ajuste automático de parâmetros, simulação de processos em tempo real e muito mais. Qualidade 4.0 é uma forma moderna de gestão da qualidade. As tecnologias digitais combinadas com métodos

mais sofisticados e processos mais inteligentes permitirão que equipas de alto desempenho forneçam aos consumidores produtos de alto desempenho e qualidade de maneira confiável. A Qualidade 4.0 foca nos detalhes necessários, reduzindo o custo da baixa qualidade e acompanhando os resultados da qualidade (Carvalho et al., 2021) (Javaid et al., 2021).

Pode-se ver na Figura 18 as diferentes fases da evolução da qualidade.

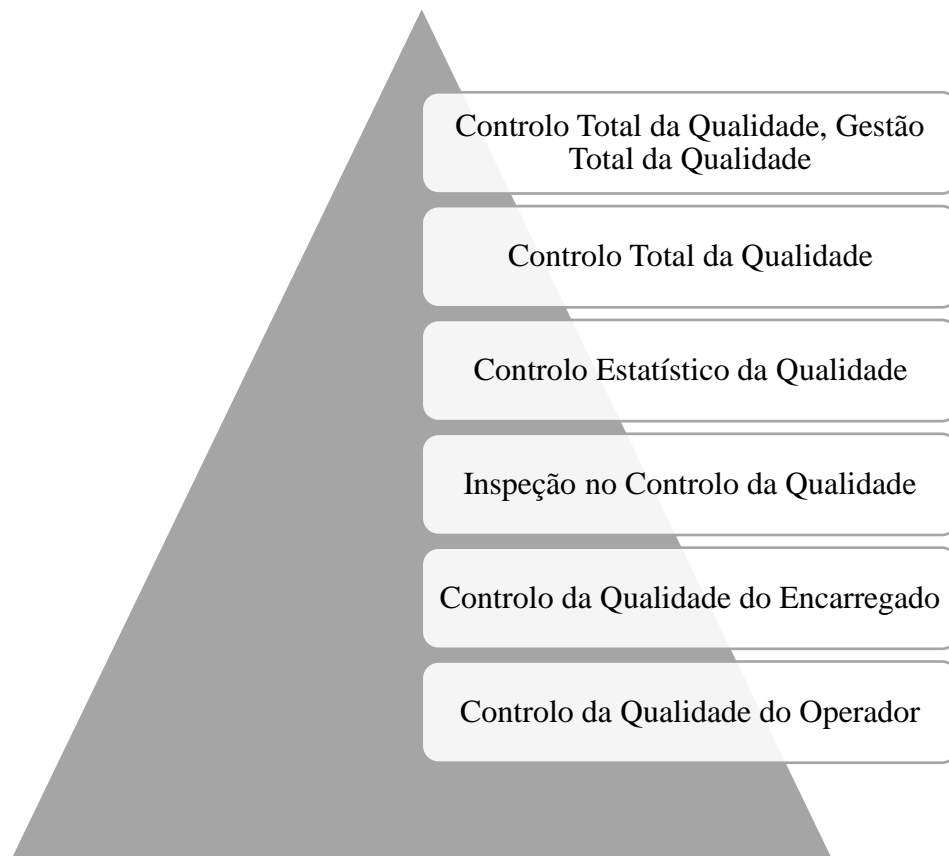


Figura 18 - Evolução da qualidade.

(Adaptada Feigenbaum 1983)

3.2. Definições da Qualidade

A noção de qualidade tem sido definida de diferentes formas por vários autores. Juran um dos maiores mestres no cenário da gestão da qualidade foi um dos grandes precursores da gestão da qualidade e muito conhecido pela famosa trilogia de Juran (Planear, controlar e melhorar) e também pela sua definição da qualidade.

Juran (1974) define qualidade como “adequação ao uso”.

O conceito “adequação ao uso”, traduz-se no nível de satisfação do cliente/utilizador, determinadas pelas características do produto que o utilizador reconhece como benéficas, como por exemplo, pontualidade do serviço de autocarro, a beleza de uma pintura, a durabilidade de um sapato, etc.

Estas características do produto encontram-se divididas em:

Tecnológicos, como por exemplos, dureza, acidez.

Psicológicos, como gosto, beleza.

Orientados para o tempo, como confiabilidade, capacidade de manutenção.

Contratual, como cláusulas de garantia.

Éticos, como cortesia dos vendedores, honestidade das lojas de serviço.

A adequação ao uso é o resultado de alguns parâmetros bem conhecidos como a qualidade do design, qualidade de conformidade, as habilidades, área de serviço (Juran et al., 1974).

Para Crosby (1979), a qualidade é conformidade com os requisitos ou especificações. Philip Crosby foi também um dos grandes mestres da qualidade e está associado a conceitos como “fazer bem à primeira”, “zero defeitos” e a definição da qualidade que associa qualidade à conformidade com as especificações. Se confundirmos a qualidade com elegância, brilho, dignidade, amor ou qualquer outra coisa, veremos que todos temos ideias diferentes, no entanto, não falemos da má qualidade ou alta qualidade, mas sim, de conformidade e não conformidade (Crosby, 1979).

Garvin (1987) fornece uma excelente discussão de oito dimensões da qualidade. Esta classificação proposta por Garvin mostra que as várias dimensões podem ser atribuídas a produtos e ou serviços para os tornar adequados ao uso. Essas dimensões da qualidade não são exclusivas, sendo complementares e dependendo do produto e/ou serviços que se fornece. As oito dimensões são:

- Desempenho, que se refere às características operacionais primárias de um produto, ou seja, a capacidade do produto realizar as funções específicas e quão bom.
- Características, que também pode ser designada como característica secundária do desempenho, está associado às características complementares do desempenho básico.

- Fiabilidade, diz respeito a probabilidade da falha do produto num período de tempo específico.
- Conformidade, está relacionada com o cumprimento dos padrões ou alvo estabelecidas, ou seja, o produto apresenta exatamente as especificações a ele destinadas.
- Durabilidade, é a medida do tempo de vida do produto, em termos técnicos, por outras palavras pode-se dizer que a durabilidade é a quantidade de uso de um produto antes desse danificar e a substituição for preferível a um reparo contínuo.
- Serviço, traduz-se na facilidade de reparação/manutenção do produto ou serviço.
- Estética, é uma dimensão subjetiva da qualidade. Refere à aparência, sabor ou cheiro de um produto, e é claramente um reflexo de julgamento e preferência pessoal ou individual.
- Perceção da qualidade, também é uma dimensão subjetiva da qualidade associada à marca, sendo que os consumidores nem sempre têm informações completas sobre os atributos do produto ou serviço (Garvin, 1987).

Montgomery (2013) define qualidade como sendo “inversamente proporcional à variabilidade”.

Esta definição implica que se a variabilidade nas características importantes de um produto decresce, a qualidade do produto aumenta (Montgomery, 2013).

Um conceito mais recente da qualidade encontra-se na norma NP EN ISO 9000:2015 como sendo, *grau de satisfação de requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas de um objeto*, em que esse objeto pode ser um produto, serviço, processo, pessoa, sistema ou recurso (NP EN ISO:2015, 2015).

As várias definições da qualidade descritas evidenciam vários aspetos fundamentais da qualidade que são por um lado o cumprimento das especificações, a produção dos produtos de uma forma estável e consistente com a menor variabilidade possível e sempre com o objetivo de máxima satisfação do cliente e superação das suas expetativas.

3.3. Controlo estatístico do processo

Define-se Controlo Estatístico do Processo, em inglês, *Statistical Process Control (SPC)* como um conjunto de ferramentas de resolução de problemas útil na obtenção da

estabilidade do processo e na melhoria da capacidade do mesmo através da redução da variabilidade.

O seu objetivo principal consiste em efetuar ações sobre os processos que operam dentro de especificações de forma a reduzir continuamente a sua variabilidade (Montgomery, 2013).

Sob o SPC, um processo apresentará um comportamento previsível para produzir a maioria dos produtos conformes e com o mínimo desperdício possível. Prováveis variações no processo que possam afetar a qualidade podem ser detetadas e corrigidas, reduzindo o desperdício assim como a probabilidade de os mesmos chegarem aos clientes (Madanhire & Mbohwa, 2016).

As ferramentas da qualidade podem-se utilizar como forma de definir, medir, analisar e obter soluções para problemas identificados e que interferem com o bom desempenho dos processos. As ferramentas da qualidade foram sendo utilizadas ao longo dos anos com base em conceitos e práticas utilizadas nas organizações. Existe um conjunto de ferramentas de simples utilização e que são comumente chamadas de 7 ferramentas básicas da qualidade muito utilizadas para a resolução de problemas nas organizações.

As setes principais ferramentas da qualidade são (Montgomery, 2013):

- Histograma
- Folha de verificação
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de causa-efeito ou Diagrama de Ishikawa
- Diagrama de dispersão
- Fluxograma
- Cartas de controlo

Histograma, é usado para mostrar distribuições de frequência, isto é, a frequência com que ocorre cada valor diferente em um conjunto de dados.

Folha de verificação, é um formulário estruturado e preparado para recolha e análise de dados. É uma ferramenta genérica que pode ser adaptada a uma ampla variedade de propósitos.

Diagrama de Pareto, é um gráfico de barras que representa a frequência ou custo (dinheiro ou tempo). Identifica de uma forma rápida e visualmente os tipos de defeitos que ocorrem

mais frequentemente, priorizando a atuação sobre as causas que deram origem aos mesmos.

Diagrama de causa-efeito ou Diagrama de Ishikawa, identifica diversas causas possíveis para um efeito ou problema, classificando-os imediatamente em categorias úteis. Pode ser usado para estruturar uma sessão de brainstorming.

Diagrama de dispersão, é utilizado para procurar relações entre variáveis, ou verificar se as variáveis são independentes. Uma variável pode causar a alteração de um segundo ou um terceiro fator pode afetar os dois. Se as variáveis estiverem correlacionadas, os pontos cairão ao longo de uma linha ou curva. Quanto melhor for a correlação, mais estreitos os pontos irão abraçar a linha.

Fluxograma é uma imagem das etapas separadas de um processo em ordem sequencial. Os elementos que podem ser incluídos são: sequência de ações, materiais ou serviços que entram ou saem do processo (entradas e saídas), decisões que devem ser tomadas, pessoas que se envolvem, tempo envolvido em cada etapa e/ou medições do processo.

As cartas de controlo, são utilizadas para estudar o comportamento do processo ao longo do tempo, ou seja, a sua variabilidade. Os dados são exibidos em ordem do tempo. Apresenta uma linha central para a média, uma linha superior para o limite superior de controlo e uma linha inferior para o limite inferior de controlo. Esses limites são determinados a partir de dados históricos, e ao comparar dados atuais com esses limites pode-se tirar conclusões sobre a variação do processo, verificando se o processo está sob controlo estatístico ou não (Tague, 2005) (Flott, 2012b) (Montgomery, 2013) (*7 Basic Quality Tools: Quality Management Tools / ASQ*, n.d.).

A Figura 19 ilustra as setes ferramentas básicas da qualidade.

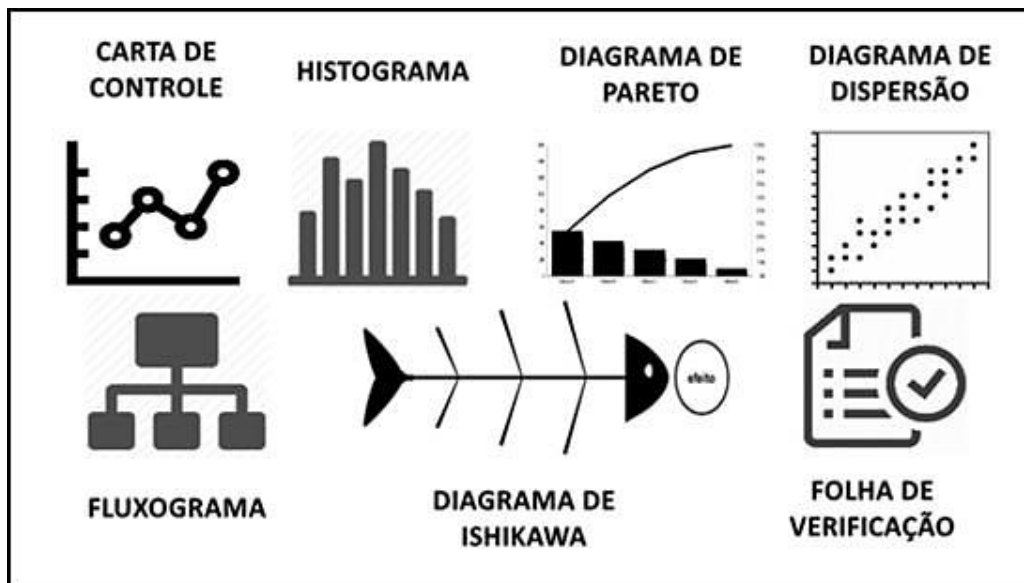


Figura 19 - Setes ferramentas da qualidade.

(Retirada de *Ferramentas Da Qualidade: Conceito e Aplicação* | Portal Administração, n.d.)

Estas sete ferramentas fazem parte de um grupo de métodos elementares, que devem ser de conhecimento de todas as pessoas envolvidas com a empresa, desde a gestão estratégica aos colaboradores nos restantes níveis organizacionais, e, por isso, devem fazer parte dos programas básicos de treino das organizações.

3.3.1. Causas da variabilidade do processo

Um processo (Figura 20) é um “conjunto de atividades inter-relacionadas ou interatuantes que utiliza entradas para disponibilizar um resultado pretendido”. Resultado pretendido, também designado de saída, pode ser um produto ou serviço dependendo do contexto da referência.

As entradas (*input*) são geralmente saídas (*output*) de outros processos e as saídas de um processo são geralmente as entradas para outros processos (NP EN ISO:2015, 2015).

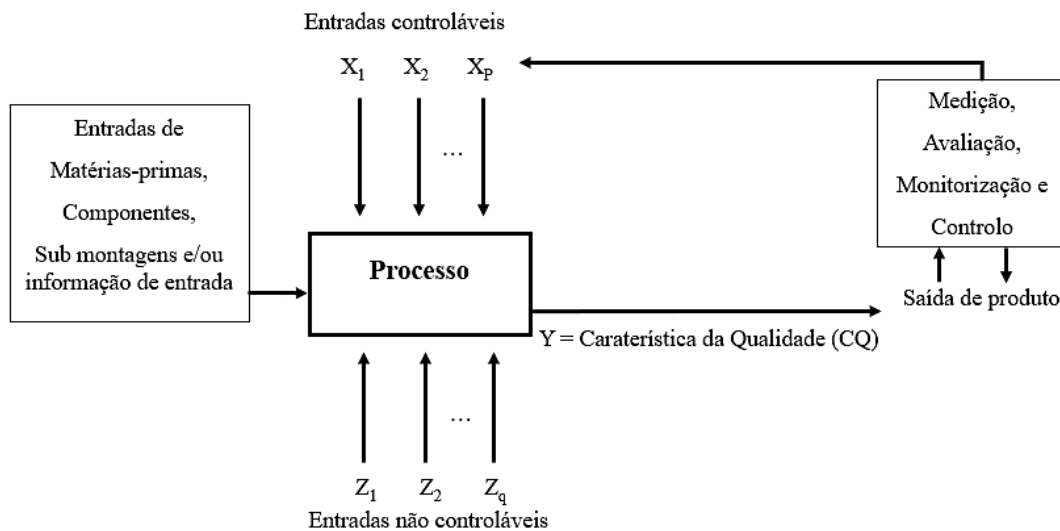


Figura 20 - Entrada e saída de um processo.

(Adaptada de Montgomery, 2013)

Em qualquer processo de produção, independentemente de quão bem planeado ou cuidado ele for, a variabilidade inerente ou natural sempre existirá (Montgomery, 2013).

Ao mesmo tempo, os resultados do processo surgem devido a interações complexas de vários fatores. Isso inclui homens, máquinas, materiais, métodos, bem como condições ambientais como temperatura, pressão, humidade, partículas, vibração, ruído, interferência de radiofrequência, etc. Qualquer variação em qualquer um deles pode causar variação nos processos. Se a variação do processo não for observada e corrigida a tempo, pode levar a variações no desempenho do produto final. A causa das variações do processo pode ser agrupada em duas categorias principais:

- Causas aleatórias
- Causas especiais

As causas aleatórias também são conhecidas como causas comuns. Como o nome sugere, as causas aleatórias não podem ser rastreadas ou atribuídas a nenhuma causa específica. Isso pode ser devido a variações aleatórias nas entradas para o processo, como mudanças de temperatura, mudanças de voltagem, mudança emocional repentina do operador, etc.

A variabilidade do processo quando há apenas variações aleatórias é chamada de variabilidade do processo, e então, diz-se que o processo está sob controlo ou sob controlo estatístico se apenas estão presentes causas aleatórias. É costume tomar como medida da

capacidade de um processo a dispersão seis sigma na distribuição da característica da qualidade. Essa é a capacidade natural do processo. Variação no equipamento de teste ou mudança nas características das matérias-primas, etc. levam a variações de causa comum. As variações na distribuição normal onde os valores se encontram até $\mu \pm 3\sigma$ são devidas a causas aleatórias e os limites naturais de tolerância do processo expressam a tolerância natural do processo.

As causas comuns de variação são assim aleatórias e estão presentes em qualquer processo de produção constituindo os elementos que atuam no processo e estão relacionados com variações que podem advir de métodos de trabalho, máquinas, mão de obra, metrologia, matérias-primas, etc. Se num processo apenas estão presentes causas comuns de variação pode-se dizer que o processo é estável e previsível já que a variação do processo é conhecida e constante ao longo do tempo.

As variações devido a causas atribuíveis são chamadas de causas especiais ou variações de causa atribuíveis. Essas causas são identificáveis com análise. As causas especiais de variação não são inerentes ao processo produtivo e como tal têm de ser eliminadas uma vez identificadas. Estas são causas que ocorrem em processos que estão fora de controle estatístico e podem ter origem por problemas que ocorrem em produção como por exemplo a introdução de uma matéria-prima errada, o uso de um incorreto procedimento de trabalho, um erro relacionado com um equipamento, entre outros. As causas especiais de variação provocam alterações no processo produtivo de magnitude suscetível de comprometer a qualidade do produto.

Essa variabilidade é, geralmente, muito grande quando comparada com a variabilidade natural, e representa, usualmente um nível inaceitável do desempenho do processo. Quando há variações de causa especial, o processo é considerado fora de controle ou instável (Ramasamy, 2012) (Montgomery, 2013).

A Figura 21 ilustra as causas da variabilidade aleatória e a atribuíveis. Até o instante t_1 , o processo está sob controle, isto é, apenas as causas aleatórias da variação estão presentes. Tanto o valor da média (μ_0) como o desvio padrão (σ_0) do processo estão sob controle.

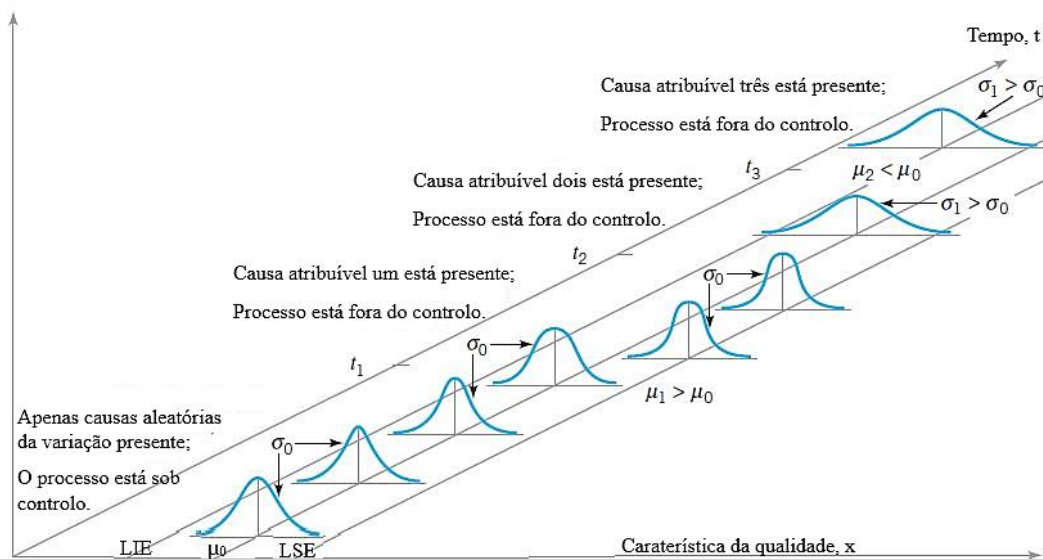


Figura 21 - Causas da variabilidade de um processo.

(Adaptada de Montgomery, 2013)

No instante t_1 , ocorre uma causa atribuível. Assim como mostra a figura o efeito dessa causa atribuível é deslocar a média do processo para um novo alvo $\mu_1 > \mu_0$. No instante t_2 , outra causa atribuível ocorre resultando em $\mu_1 = \mu_0$, e o desvio padrão do processo deslocou para um valor maior $\sigma_1 > \sigma_0$. No instante t_3 , outra causa atribuível está presente, que resulta em valores fora do controle tanto para a média como para o desvio padrão.

Pode-se verificar que a partir do instante t_1 , a presença de causas atribuíveis resultou em um processo fora do controle, em que uma proporção maior da saída fica fora dos limites de especificações. Em geral os processos de produção poderão operar em estado de controle por longos períodos de tempo, no entanto nenhum processo é verdadeiramente estável para sempre (Montgomery, 2013).

3.4. Cartas de controle

As cartas de controle foram desenvolvidas por Walter A. Shewhart enquanto trabalhava para a *Bell Telephone Laboratories* na década de 1920. Os engenheiros da empresa estavam procurando melhorar a fiabilidade de seus sistemas de transmissão de telefone. As cartas de controle são ferramentas que permitem o controle e a melhoria de um processo pois através da monitorização e controle das variáveis críticas de um

determinado processo as cartas permitem identificar sinais para que se possa tomar medidas de quando parar, quando ajustar ou corrigir fatores do processo e/ou produto. Shewhart é conhecido como o pai das cartas de controlo estatístico pois foi quem criou algumas das cartas de controlo mais comuns.

Em 1920, os engenheiros já haviam percebido a importância de reduzir a variação de um processo de fabricação. Além disso, eles também perceberam que os ajustamentos individuais ao processo por simples reação a desvios relativos ao valor alvo, na verdade, em vez de contribuir para a redução da variação tinha o efeito oposto pois aumentava efetivamente a variação e degradava a qualidade. Shewhart criou a base para o desenvolvimento das cartas de controlo e de um estado de controlo estatístico por meio de experiências cuidadosamente planejadas. Enquanto Shewhart baseava o seu desenvolvimento em teorias estatísticas, ele compreendeu que os dados de processos físicos produzem tipicamente uma "curva de distribuição normal" (uma distribuição gaussiana, também vulgarmente referida como "curva do sino"). Ele descobriu que a variação observada nos dados de fabricação nem sempre comportavam exatamente da mesma maneira que os dados na natureza. Shewhart concluiu que, embora cada processo exiba variação, alguns processos exibem variação controlada que é natural ao processo, enquanto outros exibem variação não controlada que não está presente no sistema causal do processo (Flott, 2012a).

As cartas de controlo são ferramentas utilizadas com frequência na monitorização estatística do processo e permitem distinguir com maior precisão as causas aleatórias das causas sistemáticas (assinaláveis) de flutuações no valor de uma característica da qualidade, ou seja, facilitam a monitorização e a melhoria da qualidade do processo.

São utilizados na monitorização de processos e na determinação da necessidade de correções ou alterações no processo, a fim de resolver problemas de localização e poder trabalhar ao valor alvo, centrando assim a média do processo ao valor alvo ou para reduzir a variabilidade do mesmo (Gejdoš, 2015).

A carta de controlo é uma apresentação gráfica de uma característica da qualidade medida ou calculada, a partir de uma amostra versus o número da amostra ou tempo. É com base na estatística que se constroem e se interpretam as cartas de controlo. O gráfico contém uma linha central representando o valor médio da característica da qualidade (LC) e duas linhas horizontais, denominadas de limite superior de controlo (LSC) e limite inferior de

controle (LIC) que são obtidas somando ou subtraindo respectivamente 3 vezes o desvio padrão. Esses limites de controle são escolhidos de modo que, se o processo estiver sob controle, praticamente todos os pontos amostrais estarão entre eles (Montgomery, 2009) (Fu et al., 2017). Uma vez que os processos têm variação natural devido às causas comuns de variação os vários pontos a representar na carta distribuem-se de forma aleatória com o formato de uma distribuição normal. As cartas de controle têm tido uma longa história de uso na indústria, mas também nos serviços apesar de com uma menor expressão.

Destacam-se cinco razões para a sua popularidade:

1. As cartas de controle são uma técnica comprovada para a melhoria da produtividade. Um programa de cartas de controle bem-sucedido reduz o desperdício e o retrabalho, que são as causas principais pela produtividade em qualquer operação. A redução do desperdício e retrabalho aumenta a produtividade e a capacidade de produção e diminui o custo.
2. As cartas de controle são eficazes na prevenção de defeitos. Ajudam a manter o processo sob controle, o que é consistente com a filosofia “fazer bem à primeira”. Nunca é mais barato separar unidades “boas” das “más” mais tarde do que fazê-las corretamente à primeira.
3. As cartas de controle evitam ajustes desnecessários do processo. Uma carta de controle pode distinguir entre variação aleatória e uma variação especial; nenhum outro instrumento incluindo um operador humano, é tão eficiente para fazer essa distinção. Se os operadores ajustam o processo com base em testes periódicos não relacionados a um programa de carta de controle, frequentemente terão de reagir mais a variação considerada aleatória e fazer ajustes que não seriam necessários. Esses ajustes podem, na verdade, resultar numa deterioração do desempenho do processo uma vez que a variação global do processo vai aumentar face aos ajustes individuais que não deveriam ser feitos caso o processo apenas registasse variação aleatória.
4. As cartas de controle fornecem informação de diagnóstico. O padrão dos pontos de uma carta de controle contém informação de valor para diagnóstico do processo. Essa informação permite a implementação de uma mudança no processo que melhore o seu desempenho.
5. As cartas de controle fornecem informações sobre a capacidade do processo. A carta de controle fornece informação sobre o valor de vários parâmetros

importantes do processo e sobre a sua estabilidade ao longo do tempo, permitindo fazer uma estimativa da capacidade do processo para processos que se encontrem sob controlo estatístico (Montgomery, 2009).

Shewhart sugeriu que a carta de controlo deve ter três objetivos principais:

- Definir a meta ou “padrão” para um processo que a gestão se deve esforçar para atingir.
- Ser usado como um auxílio para atingir este padrão.
- Servir de base para avaliar se o padrão foi alcançado.

Assim, os conceitos de carta de controlo de Shewhart cobrem os campos de especificação de produto, produção e inspeção e, quando usados, auxiliam na integração dessas fases da indústria (Murdoch, 1979).

3.4.1. Modelo geral de uma carta de controlo

As cartas de controlo são ferramentas gráficas utilizadas para verificar a estabilidade do processo. Neste contexto, se a característica em análise apresentar uma distribuição de probabilidade que se mantém ao longo do tempo, o processo está sob controlo estatístico. Pelo contrário, se existir alterações ao longo do tempo nesta distribuição, o processo encontra-se fora de controlo estatístico (Woodall, 2000).

A construção de uma carta de controlo segue um modelo geral (Figura 22), que mostra a evolução de uma estatística (w) ao longo do tempo (t), referente a uma característica da qualidade, essa estatística pode ser a média, a mediana, o desvio padrão ou mesmo os valores individuais de observações.

Seja w uma estatística da amostra que mede alguma característica da qualidade de interesse, e supondo que a média é μ_w e o desvio padrão de w é σ_w , então a linha central, o limite superior de controlo e o limite inferior de controlo podem ser dados pelas equações (1), (2) e (3):

$$LSC = \mu_w + L\sigma_w \quad (1)$$

$$LC = \mu_w \quad (2)$$

$$LIC = \mu_w - L\sigma_w \quad (3)$$

Em que L é a “distância” dos dois limites de controlo à linha central, expressa em unidade de desvio padrão. Esta teoria geral das cartas de controlo foi primeiramente proposta por Walter S. Shewhart, como já referido razão pela qual as cartas de controlo desenvolvidas segundo esses princípios, são intitulados de cartas de controlo de Shewhart (Montgomery, 2009) (Esteves, 2018).

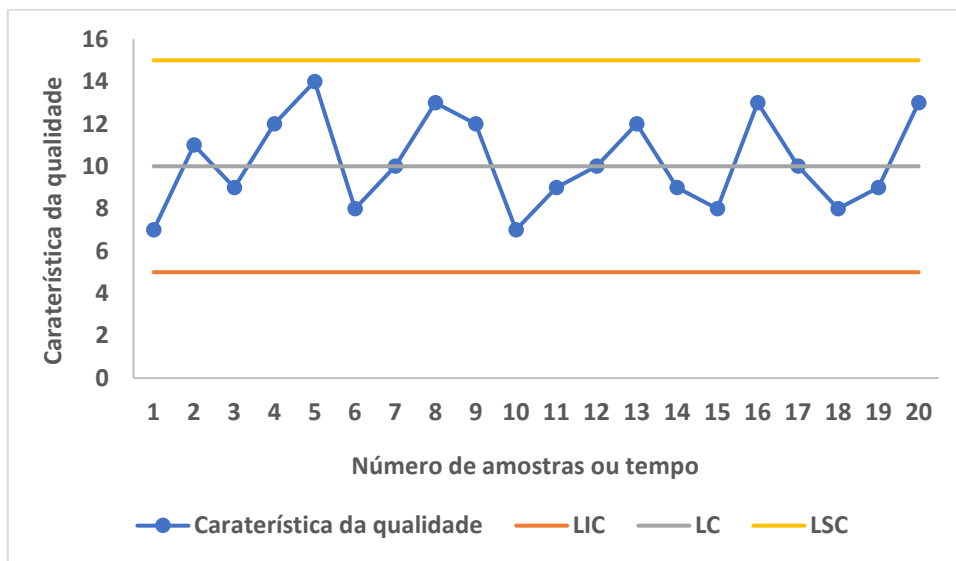


Figura 22 - Exemplo de uma carta de controlo.

O processo está sob controlo estatístico quando apresenta um padrão aleatório no intervalo compreendido entre os limites de controlo estatístico. Caso um ou mais pontos se encontrem fora dos limites de controlo ou, embora dentro do intervalo apresentem uma tendência especial e não um comportamento aleatório, pode inferir-se que o processo se encontra fora do controlo estatístico, sugerindo a existência de causas especiais ou assinaláveis. No processo, sempre que for detetada uma causa especial de variação, deve-se proceder à sua investigação e implementação de ações corretivas (Shewhart, 1931) (Montgomery, 2013).

3.4.2. Escolha dos limites de controlo

Os limites de controlo segundo Shewhart (1931) encontram-se localizados a $\pm 3\sigma_w$ da linha central, onde a estatística w segue uma distribuição normal, com média μ_w e desvio padrão σ_w . As equações (4), (5) e (6), indicam como são calculados os limites inferior e superior de controlo e a linha central.

$$LSC = \mu_w + 3\sigma_w \quad (4)$$

$$LC = \mu_w \quad (5)$$

$$LIC = \mu_w - 3\sigma_w \quad (6)$$

Usando os limites de controlo $\pm 3\sigma$, supondo que as amostras estejam normalmente distribuídas, a probabilidade do erro do tipo I ou probabilidade de α é de 0,27%, no entanto existe 99,73% de um ponto se encontrar dentro dos limites de controlo (Shewhart, 1931) (Montgomery, 2013).

Erro do tipo I, isto é, o risco de um ponto estar fora dos limites de controlo, indicando uma condição de fora de controlo, quando nenhuma causa atribuível está presente, ou seja, o processo encontra-se sob controlo estatístico. O erro do tipo II, probabilidade de β , isto é, o risco de um ponto estar entre os limites quando o processo está, na verdade, fora de controlo.

Afastando os limites de controlo da linha central, diminui se o risco do tipo I, no entanto, ao aumentar os espaços entre os limites aumenta o risco do erro do tipo II. Aproximando os limites de controlo da linha central aumenta o risco do erro do tipo I, enquanto o erro do tipo II diminui (Montgomery, 2009).

O desempenho de uma carta de controlo é normalmente avaliado através do *Average Run Length* (ARL). O *Run Length* é considerado o tempo de espera até à ocorrência de uma situação de fora de controlo. O valor de ARL é definido como sendo o número médio de observações representadas até que uma possível causa especial seja detetada.

Quando o processo está sob controlo estatístico, o ARL é obtido pela equação (7).

$$ARL_{Em\ controlo} = \frac{1}{\alpha} \quad (7)$$

No caso das cartas de controlo de Shewhart e para um processo em que as observações são independentes, $\alpha = 0,27\%$. Logo espera-se obter uma média de um valor de fora dos limites de controlo em cada 370 observações.

Quando um processo está fora de controlo, o ARL é dado pela equação (8).

$$ARL_{Fora\ de\ controlo} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (8)$$

Alguns autores sugerem o uso de dois conjuntos de limites nas cartas de controlo.

Os limites exteriores, limites em três sigma ($\pm 3\sigma$), os usuais limites de ação, isto é, quando um ponto situar fora desse limite, procura-se uma causa atribuível e toma-se uma ação corretiva, se necessário e os limites interiores, usualmente em dois sigma ($\pm 2\sigma$), denominados os limites de alerta (Chakraborti, 2000) (Montgomery, 2013) (Cortez, 2017).

3.4.3. Aplicação das cartas – Fase I e Fase II

O procedimento habitual para a construção das cartas de controlo consiste em duas fases distintas: a Fase I, ou fase de retrospectiva, e a fase II, a fase de monitorização. Normalmente, na fase I, são estimados os parâmetros do processo para calcular a linha central e os limites de controlo experimentais. Na fase II, estes valores de limites e linha central são utilizados para monitorizar a estabilidade do processo (Shper & Adler, 2017).

Na Fase I, o interesse principal é perceber melhor o processo e avaliar a estabilidade do processo; o último geralmente consiste em tentar colocar um processo em controlo por meio da análise de dados históricos ou preliminares, localizando e eliminando quaisquer causas atribuíveis de variação. Um processo operando em torno de um nível desejável ou alvo especificado sem causas atribuíveis de variação é considerado estável ou em controlo estatístico, ou simplesmente sob controlo.

Além do uso de várias ferramentas estatísticas exploratórias (por exemplo, gráficas) e confirmatórias (por exemplo, teste de hipóteses), as cartas de controlo desempenham um papel crucial em uma análise de Fase I. Elas ajudam a obter uma visão melhor do que está a acontecer ao longo do tempo, diagnosticando a(s) fonte(s) de causas atribuíveis ou

assinaláveis e auxiliando na sua eliminação. Conforme descrito em Montgomery (2005), o processo de estabelecimento do controle na Fase I pode ser iterativo e os limites de controle são geralmente vistos como limites de teste ou limites experimentais. Uma vez que o controle estatístico é estabelecido para a satisfação do utilizador, quaisquer parâmetros desconhecidas são estimadas a partir dos dados de controle, também chamados de dados de referência, levando à configuração das cartas de controle para que a monitorização eficaz do processo possa começar na Fase I (Chakraborti et al., 2009).

A fase II inicia-se após um conjunto de dados “limpos” do processo recolhidos sob condições estáveis e representativas do desempenho do processo sob controle. Nesta fase utilizam-se as cartas de controle para monitorizar o processo, comparando a estatística amostral para cada amostra sucessiva, à medida que ela é retirada do processo, com os limites de controle.

Usualmente as causas atribuíveis que ocorrem na fase II resultam, em geral, de pequenas mudanças no processo, porque a maioria das fontes de variabilidade mais pesadas já foram sistematicamente removidas durante a fase I (Montgomery, 2009).

Na Fase I, as etapas a seguir para a construção das cartas de controle são as seguintes (Pereira & Requeijo, 2008):

1. Selecionar a característica da qualidade.
2. Desenvolver um plano de controle em que conste a dimensão da amostra, a frequência de amostragem, o equipamento de medição e o método de medição.
3. Selecionar o tipo de carta em função da estatística (ou estatísticas) amostral a monitorizar.
4. Recolher m amostras de dimensão n durante um determinado período de tempo, perfazendo um total de N unidades ($N = m \times n$), de forma que $N \geq 100$.
5. Calcular a estatística a controlar para cada uma das m amostras.
6. Determinar os limites de controle e a linha central, tendo por base as estatísticas calculadas a partir das m amostras.
7. Verificar a existência de causas especiais de variação.
8. Eliminar, se for caso disso, os pontos que denotam a existência de causas especiais de variação.
9. Determinar os limites revistos e a linha central.
10. Construir a carta de controle revista.

11. Verificar se o processo apresenta unicamente causas comuns de variação.

A verificação da estabilidade do processo é um dos grandes objetivos desta Fase I do SPC. Um outro objetivo de extrema importância, consequência da concretização do anterior, é a estimação da média e da variância do processo, designados por parâmetros do processo.

Com as estimativas dos parâmetros do processo, é possível, então verificar se todas as unidades produzidas satisfazem a especificação técnica, isto é, é possível determinar a capacidade do processo entendida como sendo a aptidão do mesmo produzir consistentemente dentro dos limites das especificações.

Quanto à Fase II, e considerando que já foram definidos a característica, o plano de controlo e o tipo de carta, deve-se:

1. Representar no gráfico o LIC, LC e LSC definidos na Fase I.
2. Recolher a amostra i , determinar a estatística w_i e representar o valor no gráfico.
3. Verificar se esse valor corresponde a uma causa especial de variação.
4. Caso se detete uma situação de fora de controlo, identificar a causa e implementar ações corretivas.
5. Recolher a amostra $i + 1$, calcular w_{i+1} , representando no gráfico o respetivo valor.
6. Proceder sequencialmente de acordo com os pontos 3, 4 e 5.

3.4.4. Regras para deteção das causas assinaláveis

Quando um processo está sob controlo estatístico, o padrão segundo o qual se dispõem os pontos numa carta de controlo deve ser perfeitamente aleatório. A presença de padrões não aleatórios pode evidenciar alterações na média ou na dispersão do processo. Por forma a simplificar a identificação de causas especiais, a carta de controlo é tradicionalmente dividida em três zonas: A, B e C. Esta divisão é estabelecida em função dos limites $LC \pm 3\sigma$, sendo que cada zona representa um desvio padrão da média do processo (Fournier et al., 2007).

Na Tabela 1, encontram-se descritas as regras para deteção das causas especiais de variação, e da Figura 23 à Figura 30 indicam-se exemplos demonstrativos das regras usadas para deteção de padrões não aleatórios.

Tabela 1 - Regras para detecção das causas especiais.

Regra	Descrição
1	Um ou mais pontos fora dos limites de controlo (Zona A)
2	Nove pontos consecutivos na zona dos limites de alerta (Zona C), no mesmo lado da linha central
3	Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente
4	Catorze pontos consecutivos alternando de cima para baixo
5	Dois a três pontos consecutivos na Zona A, no mesmo lado da linha central
6	Quatro de cinco pontos consecutivos na Zona B do mesmo lado da linha central
7	Quinze pontos consecutivos na Zona C acima e abaixo da linha central
8	Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na Zona C

(Adaptada de Montgomery, 2009)



Figura 23 - Regra 1 para detecção de causas assinaláveis.

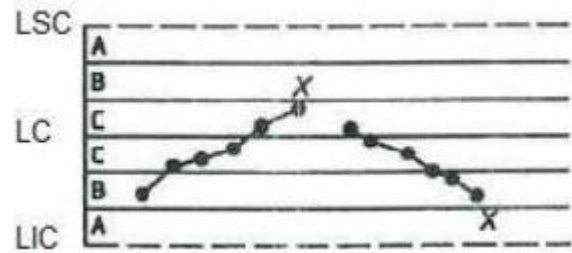


Figura 25 - Regra 3 para detecção de causas assinaláveis.

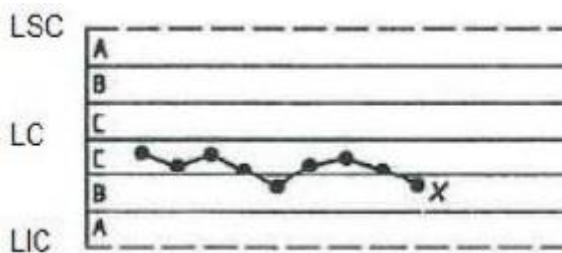


Figura 24 - Regra 2 para detecção de causas assinaláveis.

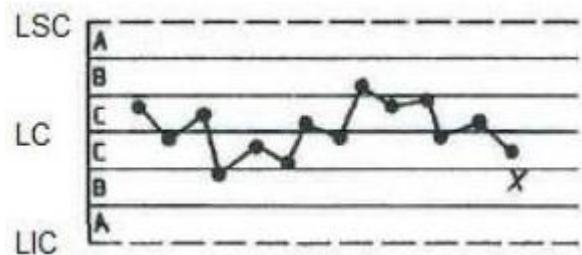


Figura 26 - Regra 4 para detecção de causas assinaláveis.

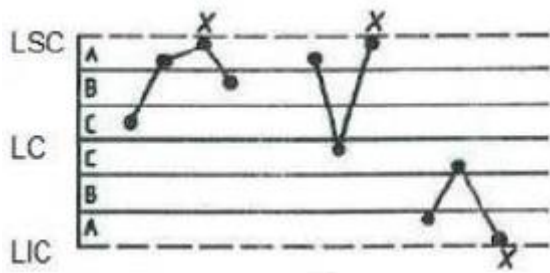


Figura 27 - Regra 5 para detecção de causas assinaláveis.

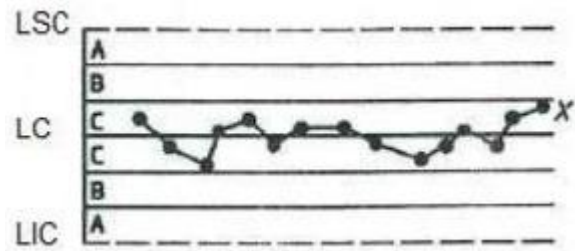


Figura 29 - Regra 7 para detecção de causas assinaláveis.

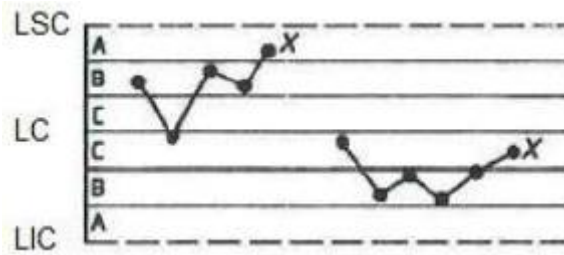


Figura 28 - Regra 6 para detecção de causas assinaláveis.

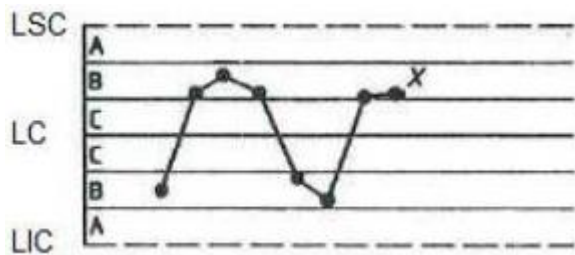


Figura 30 - Regra 8 para detecção de causas assinaláveis.

(Retirada de Cortez, 2017)

3.5. Tipos de cartas de controlo univariado

Shewart (1931) distingue dois tipos de cartas de controlo, dependendo de como são expressas as variáveis em estudo. Deste modo, quando as características da qualidade são expressas numa escala contínua, está-se perante cartas de controlo de variáveis, sendo necessário construir duas cartas de controlo para se controlar o parâmetro de localização e o parâmetro da dispersão. Por outro lado, se as características da qualidade tomarem valores discretos, é necessário construir cartas de controlo de atributos, sendo exemplo de aplicação desta tipologia a proporção de unidades não conformes e o número de defeitos. Neste caso apenas se constrói uma carta de controlo porque o desvio padrão depende somente da média e da dimensão da amostra (Montgomery, 2009) (Reis, 2017).

Na Tabela 2 apresentam-se os tipos de cartas de controlo mais comuns. Neste capítulo apenas serão explicitadas as cartas de controlo de variáveis uma vez que estas são as ferramentas utilizadas no caso de estudo.

Tabela 2 - Tipos de cartas de controle para variáveis e atributos.

Cartas de controle de Variáveis	Cartas de controle de Atributos
Carta \bar{X} e carta R – Médias e Amplitudes	Carta p – proporção de unidades não conformes
Carta \bar{X} e carta s – Médias e Desvio-padrão	Carta np – números de unidades não conformes
Carta \bar{X} e Carta s^2 – Médias e Variâncias	Carta c – número de não conformidades ou defeitos
Carta \tilde{X} e Carta R – Mediana e Amplitude	Carta u – número de não conformidades por unidade de não conformidades detetadas
Carta X e Carta MR – Observações individuais e Amplitudes Móveis	

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008))

A Figura 31 exemplifica a sequência de seleção dos vários tipos de cartas de controle univariado a utilizar.

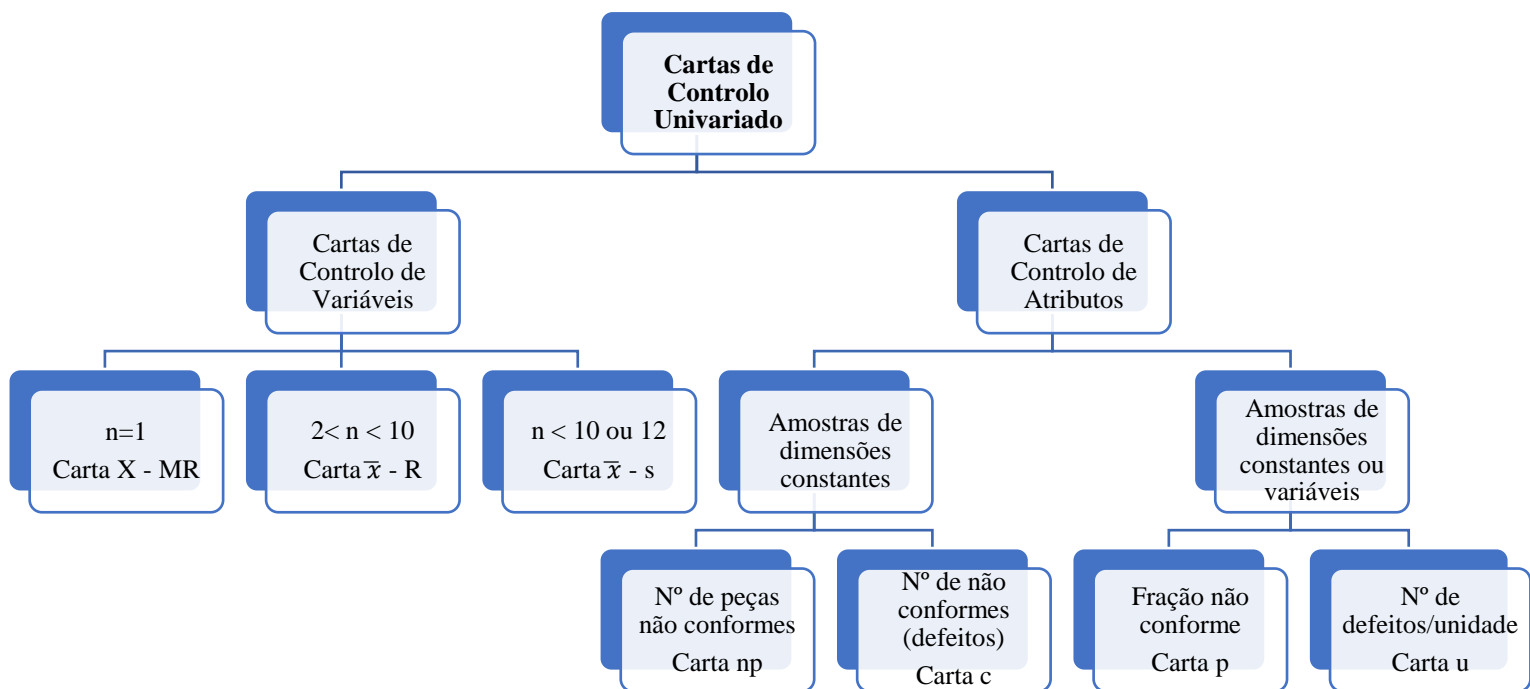


Figura 31 - Esquema de seleção de cada tipo de carta univariado a utilizar.

(Adaptada de Montgomery, 2009)

3.5.1. Carta de controlo de variáveis

As cartas de controlo para variáveis são utilizadas quando as características da qualidade podem ser expressas em medidas numéricas. Sendo a característica da qualidade uma variável é necessário monitorizar tanto o valor da média da característica como a sua variabilidade.

O controlo da média do processo, ou o nível médio da qualidade, pode ser feito através das cartas de controlo para médias ou carta de controlo \bar{x} e a variabilidade do processo é monitorizada tanto através da carta de controlo para desvio padrão, também designado de carta de controlo S, como carta de controlo para amplitude, carta de controlo R, sendo a carta de controlo R o mais utilizado (Montgomery, 2013).

3.5.1.1. Carta de controlo de variáveis para a Fase I

Na realização da Fase 1 do controlo estatístico os parâmetros do processo são desconhecidos, sendo estes estimados quando o processo se encontrar sob controlo estatístico.

Para as diferentes cartas de controlo por variáveis apresentadas na Tabela 2, encontram-se indicadas na Tabela 3, o resumo das fórmulas para a determinação dos limites de controlo e os respetivos parâmetros de controlo.

Os valores das constantes das equações, encontram-se na Tabela 13 do Anexo II - Fatores para construção de Cartas de Controlo para Variáveis.

Nesta dissertação, utilizaram-se as cartas de controlo para observações individuais e amplitudes móveis para o estudo. Assim, apresentam-se de seguida as equações que permitem a determinação dos limites de controlo e da linha central, e a estimação dos parâmetros do processo (equações (10) a (17)).

Carta de Observações Individuais e Amplitudes Móveis

A carta de controlo de observações individuais (X) e amplitude móvel (MR) é utilizada quando a amostra é constituída por uma única observação individual ($n=1$). Neste caso, como são utilizadas observações individuais não é possível obter indicações sobre a dispersão de processo num dado instante. Assim, o problema é contornado com recurso a amostras fictícias, constituídas por duas observações sucessivas com as quais é calculada a amplitude móvel através da equação (9):

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (9)$$

Para determinar os limites de controlo utilizam-se as equações (10), (11) e (12) para a carta de observações individuais, e as equações (13), (14) e (15) para a carta de amplitudes móveis.

Carta de Observações Individuais – Carta X

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (10)$$

$$LC = \bar{x} \quad (11)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (12)$$

Carta de Amplitudes Móveis – Carta MR

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (13)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (14)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (15)$$

Os estimadores dos parâmetros do processo são dados pelas equações (16) e (17):

$$\hat{\mu} = \bar{x} \quad (16)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (17)$$

Há muitas situações em que o tamanho da amostra para a monitorização do processo é $n=1$, isto é, a amostra consiste numa única unidade individual. Alguns exemplos dessas situações são:

1. Tecnologia de inspeção e medição automática usada e toda a unidade fabricada é inspecionada, de modo que não há razão para formar subgrupos racionais;
2. Os dados se tornam disponíveis muito lentamente e é inconveniente reunir tamanhos de amostras $n > 1$ para a análise. O longo intervalo de observações pode causar problemas na formação de subgrupos;
3. Medidas repetidas do processo diferem apenas por causa de erro de laboratório ou análise, como em muitos processos químicos;
4. Várias medidas são tomadas em uma mesma unidade do produto.
5. Processos de transações, negócios e serviços (Montgomery, 2013).

Tabela 3 - Limites de controlo para diferentes tipos de cartas de controlo de variáveis – Fase I.

Carta de controlo de variáveis		LSC	LC	LIC
Média e Amplitude	\bar{X}	$\bar{x} + A_2\bar{R}$	\bar{x}	$\bar{x} - A_2\bar{R}$
	R	$D_4\bar{R}$	\bar{R}	$D_3\bar{R}$
Média e Desvio Padrão	\bar{X}	$\bar{x} + A_3\bar{S}$	\bar{x}	$\bar{x} - A_3\bar{S}$
	S	$B_4\bar{S}$	\bar{S}	$B_3\bar{S}$
Média e Variância	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} - 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$
	S^2	$\frac{\bar{S}^2}{n-1}\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$	\bar{S}^2	$\frac{\bar{S}^2}{n-1}\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$
Mediana e Amplitude	\tilde{X}	$\tilde{X} + \tilde{A}_2\bar{R}$	\tilde{X}	$\tilde{X} - \tilde{A}_2\bar{R}$
	R	$D_4\bar{R}$	\bar{R}	$D_3\bar{R}$
Observações individuais e amplitudes móveis	X	$\bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$	\bar{x}	$\bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$
	MR	$D_4\overline{MR}$	\overline{MR}	$D_3\overline{MR}$

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

Estimação dos parâmetros do processo

Terminada a fase I, o processo encontra-se sob controlo estatístico sendo possível estimar os parâmetros, a média (μ) e o desvio padrão (σ). Na Tabela 4 encontram-se as fórmulas para estimar os parâmetros do processo para cada uma das cartas de controlo de variáveis.

Tabela 4 - Estimação dos parâmetros do processo para as cartas de controlo de variáveis - Fase I.

Carta de controlo de variáveis	Média (μ)	Desvio Padrão (σ)
Média e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Média e Desvio Padrão	$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$
Média e Variância	$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \bar{S}^2$
Mediana e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Observações individuais e amplitudes móveis	$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

3.5.1.2. Carta de controlo de variáveis para a Fase II

Uma vez que o processo se encontre sob controlo estatístico e estimados os parâmetros do mesmo segue-se a fase II do CEP. Nesta fase constroem-se novas cartas de controlo, em que caso as amostras tenham a mesma dimensão da fase I, são utilizados os limites de controlo definidos nesta fase. Caso contrário, é necessário recalculer os limites de controlo para a fase II do controlo estatístico do processo, recorrendo aos parâmetros do processo estimados na fase I. Na Tabela 5 estão representadas as equações para o cálculo dos limites de controlo para a fase II das diversas cartas.

Tabela 5 - Limites de controlo para diferentes tipos de cartas de controlo de variáveis – Fase II.

Carta de controlo de variáveis	LSC	LC	LIC
Carta de média	$\mu + A\sigma$	μ	$\mu - A\sigma$
Carta de amplitude	$D_2\sigma$	$d_2\sigma$	$D_1\sigma$
Carta de desvio padrão	$B_6\sigma$	$c_4\sigma$	$B_5\sigma$
Carta de observações individuais	$\mu + 3\sigma$	μ	$\mu - 3\sigma$
Carta de amplitudes móveis	$D_2\sigma$	$d_2\sigma$	$D_1\sigma$

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

3.6. Pressupostos para aplicação das cartas de controlo

Para realização do controlo estatístico do processo é necessário ter em atenção três fatores importantes, sendo estes a aleatoriedade, a normalidade e a independência dos dados. Assim, é necessário a realização de um estudo que verifique que estas estão a ser respeitadas, de modo a garantir a ausência de resultados equivocados.

3.6.1. Aleatoriedade dos dados

A não aleatoriedade pode ter diversas origens como seja mistura de populações diferentes, correlação entre observações consecutivas ou desfasadas no tempo.

Os métodos mais relevantes e usualmente utilizados na verificação da aleatoriedade dos dados de uma distribuição são: Teste das sequências; Teste das sequências Ascendentes e Descendentes; Teste Modificado do Quadrado Médio das Diferenças Sucessivas (Pereira & Requeijo, 2008) (Reis, 2017).

3.6.2. Normalidade dos dados

Um importante pressuposto na aplicação do controlo estatístico do processo é a verificação da Normalidade dos dados. Ou seja, as características em estudo às quais se aplicarão as cartas de controlo devem seguir uma distribuição Normal. A falha deste pressuposto pode levar a conclusões erradas sobre o desempenho do processo. A não Normalidade dos dados pode representar a existência de erros quando da análise das cartas de controlo. Um dos erros possíveis será a possibilidade de se verificar causas especiais de variação, quando estas não existem, representando um falso alarme. O outro erro será a situação contrária, não detetar a ocorrência de causas especiais de variação. A aplicação do controlo estatístico tradicional a dados não Normais pode ainda levar a conclusões incorretas sobre a capacidade do processo. Para a verificação da Normalidade existem muitos testes que podem ser aplicados, no entanto, o teste de Shapiro-Wilk, o teste de Qui-Quadrado, e o teste de Kolmogorov-Smirnov são os mais utilizados no estudo do CEP. Relativamente a estes dois últimos testes, o teste de Kolmogorov-Smirnov apresenta algumas vantagens: para uma distribuição de população contínua com parâmetros e forma conhecidos, a distribuição da estatística de teste é definida de forma

rigorosa, o Qui-Quadrado apresenta apenas uma distribuição aproximada; o teste de Kolmogorov-Smirnov é mais potente na maioria das situações, no entanto este teste impõe distribuições contínuas e completamente especificadas, apresentando uma desvantagem (Gervásio, 2018).

Considerando o modelo Normal com média μ e desvio padrão σ , se $X \sim N(\mu, \sigma)$, a transformação em distribuição normal é dada pela equação (18):

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (18)$$

No caso dos dados amostrais não seguirem uma distribuição normal, sugere-se algumas abordagens ao CEP nas quais:

- Caracterização, através dos dados disponíveis, da distribuição da qualidade;
- Transformação dos dados, de modo a obter uma variável normalmente distribuída;
- Utilização de método da variância ponderada para distribuições assimétricas (Montgomery, 2013).

3.6.3. Independência dos dados

Dizer-se que os dados são independentes é o mesmo que afirmar-se que não existe auto-correlação significativa entre esses dados, isto é, o valor que a variável X toma no instante t não depende do seu valor no instante anterior ($t-1$) nem em qualquer instante desfasado de k instantes ($t-k$).

A forma adequada para verificar a existência de auto-correlação significativa, ou seja, verificar se os dados não são independentes, é feita através da aplicação da Função de Auto-Correlação (FAC) e da Função Auto-Correlação Parcial (FACP) (Pereira & Requeijo, 2008).

3.7. Capacidade do processo

A capacidade do processo é simplesmente a faixa que contém todos os valores possíveis de uma característica de qualidade especificada gerada por um processo sob um determinado conjunto de condições. No caso de uma distribuição normal, não existe um

intervalo finito que contenha 100% dos valores, portanto, o intervalo contendo 99,73% dos valores é tomado como referência, que é igual a 6σ . Aquilo é,

$$\text{Capacidade do processo} = 6\sigma$$

A tendência recente é tomar a capacidade do processo igual a 8σ que contém 99,9937% ou 12σ que contém 99,9999998% dos valores. Este número pode ser utilizado na seleção inicial de uma máquina ou processo. Deve-se notar que a capacidade de processo de um processo depende dos níveis dos parâmetros do processo, portanto, o mesmo processo pode ter mais de um valor de capacidade do processo. A limitação deste índice deve-se ao pressuposto de que a característica de qualidade relacionada é normalmente distribuída (Chandra, 2001).

3.7.1. Índice de capacidade do processo

O estudo da capacidade do processo desempenha um papel essencial no CEP, uma vez que permite compreender se o processo produz de acordo com as especificações estabelecidas, possibilitando a melhoria contínua da qualidade e da produtividade. A relação entre o desempenho atual do processo e os limites de especificações pode ser quantificada através dos índices da capacidade (wu et al., 2009).

Assumindo que os dados seguem uma distribuição normal, no caso em que a especificação é bilateral, utiliza-se o índice C_p , definido pela equação (19):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (19)$$

Onde o LIE é o limite inferior de especificação, o LSE é o limite superior de especificação e o σ é o desvio padrão do processo.

Habitualmente C_p é designado por Índice de capacidade potencial. Considera-se, em geral, que $C_p = 1,33$ é o valor aceitável para processos ou máquinas existentes quando a especificação é bilateral. Contudo, este índice avalia apenas o potencial do processo, não fornecendo informações sobre a centralização do mesmo, ou seja, o C_p simplesmente mede a dispersão das especificações em relação à dispersão Seis Sigma no processo (Montgomery, 2009).

Para especificações unilaterais o índice de capacidade do processo é dado pelos índices de capacidade dos processos unilaterais calculadas através das equações (20) e (21):

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (20)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (21)$$

O índice C_{pk} representa a proximidade da distribuição do limite mais próximo da especificação.

Para avaliar se o processo está centrado recorre-se aos índices C_{pk} , (equações (22), (23) e (24)) em que:

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pk})_I, (C_{pk})_S \quad (22)$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (23)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (24)$$

Onde o $(C_{pk})_I$ é o índice de capacidade do processo inferior e o $(C_{pk})_S$ é o índice de capacidade do processo superior.

De modo geral, se $C_p = C_{pk}$, o processo está centrado no ponto médio das especificações, e quando $C_{pk} < C_p$ o processo está descentrado.

A Tabela 6 apresenta os valores mínimos recomendados para o índice de capacidade do processo.

Tabela 6 - Valores mínimos recomendáveis para o índice de capacidade do processo.

	Especificações Bilaterais	Especificações Unilaterais
Processos existentes	1,33	1,25
Novos Processos	1,50	1,45
Segurança, força, ou parâmetro crítico, processo existente	1,50	1,45
Segurança, força, ou parâmetro crítico, processo novo	1,67	1,60

(Adaptado de Montgomery, 2009)

3.8. Controlo estatístico de processo para pequenas produções

Os primeiros desenvolvimentos do Controlo Estatístico do Processo (SPC) foram apresentados por Shewhart na *Bell Telephone Laboratories*, tendo constituído um contributo valioso para a melhoria contínua da qualidade. As cartas de controlo concebidas e desenvolvidas por Shewhart consideram uma única característica da qualidade em estudo e são aplicadas a processos que disponibilizam um grande número de dados.

A realidade atual dos sistemas produtivos é muito diferente da que se verificava quando Shewhart teorizou o controlo estatístico, havendo atualmente a considerar, no mesmo sistema, a produção simultânea de muitos artigos em quantidades cada vez menores, o que conduz à necessidade de se desenvolverem metodologias mais adaptadas aos novos contextos. Assim, o controlo estatístico univariado dos processos dos diversos produtos/características tem de ser implementado através de outras cartas de controlo que constituem uma alternativa às de Shewhart. Este assunto tem vindo a ser objeto de estudo por parte de vários investigadores, como Bothe, Wheeler, Pyzdek, Quesenberry, Montgomery e Pereira e Requeijo. Este tipo de abordagem univariada é habitualmente conhecida como o controlo estatístico das “pequenas produções” (*short runs*). Quando não existem dados suficientes para estimar os parâmetros dos processos, (Quesenberry, 1997) propõe a utilização de cartas de controlo Q. A implementação destas cartas de

controlo é feita de modo a contemplar no mesmo documento todos os produtos/características, sendo uma forma expedita de controlar facilmente a estabilidade de todos os processos. No que respeita ao controlo estatístico multivariado das “pequenas produções” (*short runs*) para um número restrito de dados, a abordagem de Quesenberry é a mais adequada através de estatísticas multivariadas MQ (Matos, 2016).

Segundo Pereira e Requeijo (2008), entende-se por pequena produção (*short run*) aquela em que:

- O número de unidade produzidas de cada vez é muito pequeno (menos de vinte), ocorrendo a nova produção ao fim de determinado tempo suficiente distante.
- O número de unidades é suficiente grande (mais de cem), embora a sua produção ocorra rapidamente em termos temporais.
- A produção realiza-se por lotes específicos ao longo do tempo, sendo estes em número limitado.

A atitude a tomar face às pequenas produções (*short runs*) pode ser uma das três seguintes:

1. Inspeccionar o primeiro e o último artigo, incorrendo-se num risco muito elevado de haver artigos não conformes que não são detetados.
2. Inspeccionar 100% da produção, incorrendo-se em custos que decididamente não se não se pretende assumir.
3. Elaborar cartas de controlo para cada um dos produtos fabricados, o que apresenta desvantagens seguintes:
 - Muitos produtos implicam muitas cartas de controlo (demasiada informação a ser analisada).
 - Impossibilidade de construir cartas de controlo para produtos que são fabricados esporadicamente.
 - Devido à escassez de dados, a deteção de causas especiais no processo produtivo torna-se mais morosa, inviabilizando o lançamento atempado de ações corretivas. (Pereira & Requeijo, 2008).

3.8.1. Tipos de cartas e condições de aplicações

As abordagens padrões das cartas de controlo são adequadas para longas produções. No entanto, existem processos que produzem apenas um pequeno número de produtos durante uma única execução. Além disso, o foco crescente no inventário *Just-In-Time* (*JIT*) e nos métodos de fabrico está a levar as produções a tornarem-se mais curtos.

Do ponto de vista comercial, produzir grandes lotes de produtos várias vezes por mês e mantê-los em stock para posterior distribuição pode levar a custos evitáveis e desnecessários. Os fabricantes agora estão a avançar em direção ao *JIT*, produzindo quantidades muito menores com mais frequência para evitar os custos de "trabalho em processo" e stock.

Por exemplo, no passado, pode ter sido satisfatório para produzir 10000 peças por mês em lotes de 2500 por semana. Agora, a procura do cliente, métodos de fabrico flexíveis e os requisitos *JIT* podem levar à produção e expedição de apenas 500 peças por dia. Para perceber a eficiência dos processos de pequenas produções, é essencial que os métodos SPC possam verificar se o processo está realmente sob controlo estatístico (ou seja, previsível), e ser capaz de detetar variação de causa especial durante estes "shorts runs".

Wheeler (1991) descreve quatro requisitos para um "Estado Ideal" de operação do processo essencial para competir nesta área:

- O processo deve ser inerentemente estável ao longo do tempo.
 - O processo deve ser operado de forma estável e coerente.
 - O objetivo do processo deve ser definido e mantido no nível adequado.
 - Os Limites do processo natural devem estar dentro dos limites de especificação.
- (Rosenfeld et al., 2005).

As cartas de controlo para "pequenas produções" dividem-se em cartas de controlo de variáveis e cartas de controlo de atributos, sendo que neste trabalho apenas serão abordadas as cartas de controlo por variáveis.

Quando o controlo estatístico incide sobre variáveis contínuas e discretas, os autores, Pereira e Requeijo (2008), sugerem a implementação das técnicas estatísticas indicadas na Tabela 7 e Tabela 8 respetivamente.

Tabela 7 - Cartas de controlo estatístico de variáveis para "pequenas produções".

	Tipo de carta
Número suficiente de dados para estimar os parâmetros do processo	Carta de Diferença – Carta D Cartas Z e W
Número insuficiente de dados para estimar os parâmetros do processo	Cartas Q Cartas CUSUMQ ou EWMAQ

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

Tabela 8 - Tipos de cartas de controlo estatístico de atributos para "pequenas produções".

	Tipo de carta de controlo	
	Parâmetros do processo conhecidos	Parâmetros do processo não conhecidos
Carta de proporção de não conformes	Carta Z_p	Carta Q_p
Carta de defeitos por unidade	Carta Z_u	Carta Q_u

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

Todos os desenvolvimentos apresentados têm como pressupostos a independência e a normalidade dos dados relativos à característica da qualidade X que se pretende controlar.

Para melhor visualização do procedimento de escolha da carta de controlo mais adequada às várias situações do controlo estatístico de variáveis contínuas aplicado às “pequenas produções” apresenta-se na Figura 32 um fluxograma com a metodologia a seguir.

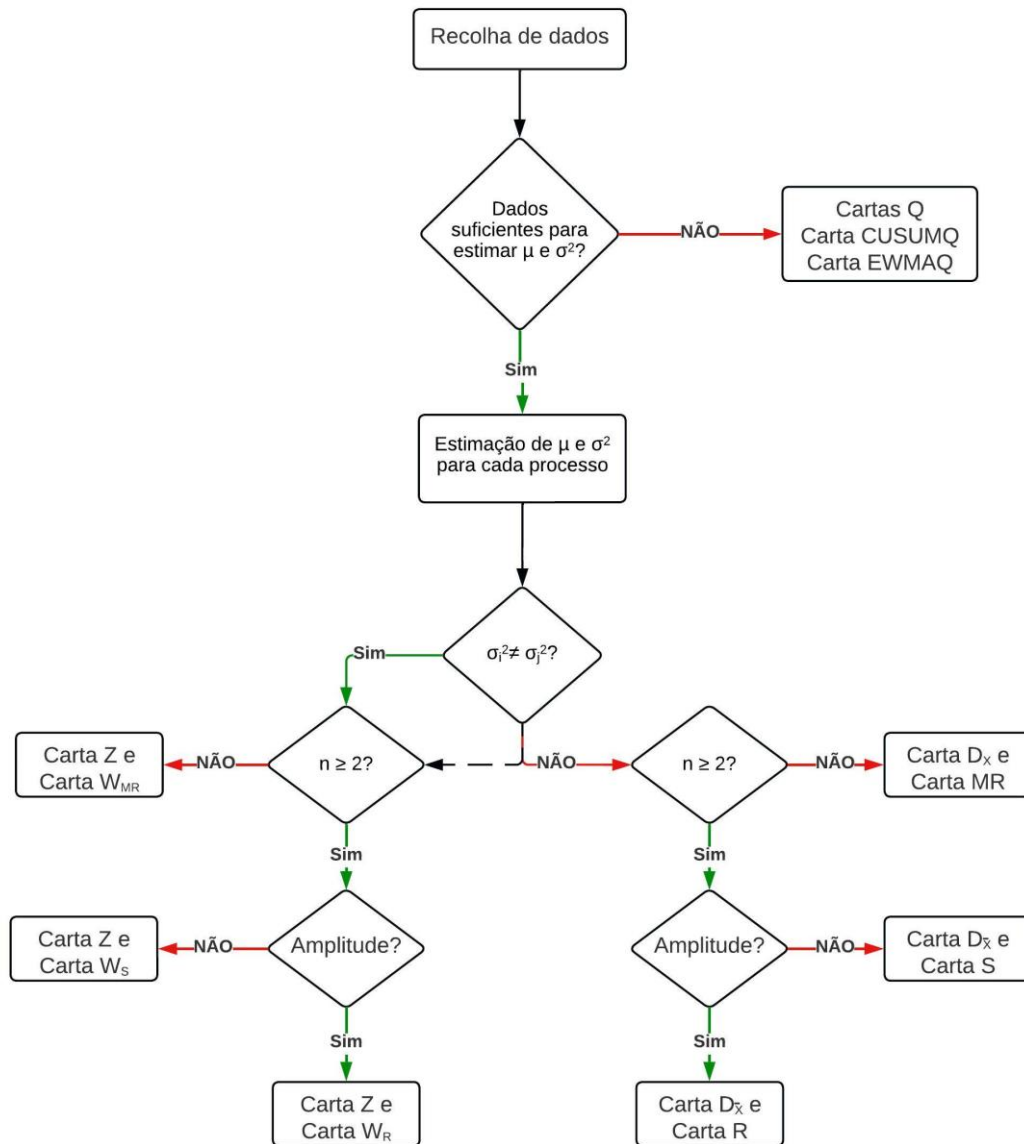


Figura 32 - Metodologia para escolha da melhor carta de controlo para "pequenas produções".

(Adaptada de Pereira & Requeijo, 2008)

3.8.1.1. Cartas de Controlo de Diferenças

As cartas de controlo de diferenças, carta D, são habitualmente aplicadas na Fase II do controlo estatístico. Estes permitem representar na mesma carta de controlo todos os dados recolhidos da produção para diferentes características, independentemente do produto. A média dos processos é controlada através de uma carta de diferenças, na qual são representados, ao longo do tempo, os valores da variável D (diferença entre o valor da variável e a média ou valor alvo) (Oakland, 2003). As dispersões dos processos, não

sendo significativamente diferentes, são controladas através de uma das cartas tradicionais de Shewhart, carta R, carta S, carta S^2 ou carta MR. Para a implementação das cartas é conveniente que todas as amostras tenham a mesma dimensão. É de realçar que, quando se pretende implementar a carta D, é necessário verificar se não existem diferenças significativas entre as variâncias dos vários processos.

Este estudo pode ser realizado através de dois métodos, os testes de homogeneidade da variância e o método empírico (Pereira & Requeijo, 2008).

Verificação da Variâncias Significativamente Diferentes

Teste de Bartlett

O teste de Bartlett tem por finalidade comparar as variâncias de várias populações e decidir se existem diferenças significativas entre elas. Para a sua aplicação recolhem-se amostras das diferentes populações e determinam-se as variâncias amostrais S^2 . Este teste só é aplicável quando as amostras referentes às diversas populações tenham dimensões iguais ou superiores a 4 ($n_i \geq 4$).

Para um estudo mais aprofundado do teste sugere-se a consulta do (Pereira & Requeijo, 2008).

Método Empírico

O método empírico consiste numa regra prática, de fácil aplicação, que permite chegar a conclusões satisfatórias. Este método consiste em comparar o desvio padrão de cada população j ($j = 1, 2, \dots, k, \dots, p$) com o desvio padrão médio das p populações não significativamente diferentes, é definido pela equação (25).

$$0,75 < \frac{\sigma_k}{\sigma_{total}} < 1,25 \quad (25)$$

Em que σ_k é o desvio padrão da população k e o σ_{total} é o desvio padrão considerando as p populações.

Caso a condição dada pela equação (25) não se verifique para uma das p populações, conclui-se imediatamente que existem diferenças significativas entre as dispersões das várias populações.

Os desvios padrões dos processos frequentemente não são conhecidos, sendo assim, procede-se à sua estimação como se encontra referido na Tabela 4.

Uma vez que a dispersão do processo está a ser controlada através das amplitudes móveis, o critério de decisão enunciado anteriormente para verificar se as diversas populações apresentam dispersões homogéneas é então definido pela equação (26) com o auxílio das equações (27) (28) (Pereira & Requeijo, 2008).

$$0,75 < \frac{\overline{MR}_k}{\overline{MR}} < 1,25 \quad (26)$$

Em que:

$$\overline{MR}_k = \frac{\sum_{i=2}^{m_k} MR_{ik}}{m_k - 1} \quad (27)$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{j=1}^p \overline{MR}_j}{p} \quad (28)$$

Onde:

m_k – número de amostras (ou observações individuais) referente à característica do produto k

p – número de caraterísticas

\overline{MR}_k – amplitude móvel média da caraterística k

\overline{MR} – amplitude móvel média de todas as caraterísticas

Para o caso de estudo, utilizou-se o método empírico para a verificação das variâncias.

3.8.1.2. Cartas de Controlo Z e W

Para resolver o problema da impossibilidade da utilização da carta das diferenças, quando as variâncias dos processos referentes às várias características dos produtos são significativamente diferentes, procede-se à transformação dos dados de modo que os seus valores se tornem adimensionais. Procede-se de modo idêntico para os respetivos valores das médias, amplitudes, desvios-padrão ou variâncias de amostras, bem como para as amplitudes móveis. Esta subtiliza matemática permite a representação, na mesma carta de controlo, dos valores transformados de diferentes características dos produtos. Mesmo que as variâncias dos diferentes processos não sejam significativamente diferentes, devem utilizar-se as cartas Z e W, em detrimento das cartas de diferenças.

As transformações referidas são realizadas considerando estimativas da média e da variância do processo de cada característica dos produtos, pelo que as cartas de controlo Z e W, construídas a partir dessas transformações, são aplicáveis preferencialmente na Fase II da implementação do controlo estatístico do processo.

As cartas Z e W apresentam uma grande vantagem em relação às cartas de diferenças, pois podem representar-se, na mesma carta de controlo, todas as estatísticas de qualquer produto, independentemente do valor da sua variância.

À semelhança do que é suposto para as cartas de Shewhart, os dados a utilizar na implementação das cartas Z e W devem ser independentes e normalmente distribuídos (Pereira & Requeijo, 2008).

Existem três tipos de cartas Z, nomeadamente: Cartas da Média e da Amplitude, Cartas da Média e do Desvio padrão e Cartas de Observações Individuais e Amplitudes móveis.

Uma vez que na presente dissertação só se utilizou as Cartas de Observações Individuais e Amplitudes Móveis, de seguida apresenta-se uma breve explicação do mesmo.

Cartas de observações individuais e da amplitude móvel

Quando existe uma grande diversidade de produtos e não é possível ou desejável usar amostras no controlo estatístico dos processos, tem de recorrer-se, obrigatoriamente, a observações individuais. Nestas condições, a alternativa mais adequada às cartas tradicionais consiste na implementação das cartas Z e W baseadas em observações individuais e amplitudes móveis.

As variáveis Z e W são, então, definidas pelas equações (29) e (30).

$$(Z_i)_j = \left(\frac{X_i - \mu}{\sigma} \right)_j \quad (29)$$

No qual:

$(X_i)_j$ – observação individual i para o produto j

$(\mu)_j$ – média do processo, relativamente à característica X , para o produto j

$(\sigma)_j$ – desvio padrão do processo, relativamente à característica X , para o produto j

Os valores dos parâmetros do processo, μ e σ , são estimados por \bar{X} e $\frac{\overline{MR}}{d_2}$ obtidos a partir das cartas tradicionais construídas na Fase I do SPC.

$$(W_i)_j = \left(\frac{MR_i}{\overline{MR}} \right)_j \quad (30)$$

Em que:

$(MR_i)_j$ – amplitude móvel no instante i para o produto j

$(\overline{MR})_j$ – média das amplitudes móveis para o produto j

Quando se utilizam duas observações consecutivas no cálculo das amplitudes móveis, $(W_i)_j$ pode ser determinada a partir da equação (31):

$$(W_i)_j = (|Z_i - Z_{i-1}|)_j \quad (31)$$

Os limites de controlo da carta Z são determinados pelas equações (32), (33) e (34).

$$LSC_Z = 3 \quad (32)$$

$$LC_Z = 0 \quad (33)$$

$$LIC_Z = -3 \quad (34)$$

Os limites de controlo da carta W_{MR} são determinados pelas equações (35), (36) e (37).

$$LSC_{W_{MR}} = D_4 \quad (35)$$

$$LC_{W_{MR}} = 1 \quad (36)$$

$$LIC_{W_{MR}} = D_3 \quad (37)$$

Sendo $n = 2$, então:

$$LSC_{W_{MR}} = 3,267$$

$$LC_{W_{MR}} = 1$$

$$LIC_{W_{MR}} = 0$$

4. Capítulo 4

Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento do estudo do Controlo Estatístico do Processo na BIOSOG, S.A.

4.1. Caso de estudo

Com este trabalho pretende-se avaliar a possibilidade de introdução de uma ferramenta de controlo estatístico do processo para que a empresa possa efetuar o controlo da qualidade nas linhas de produção de forma mais eficaz e eficiente.

As ferramentas de controlo estatístico a introduzir são as cartas de controlo de variáveis, nomeadamente as cartas de controlo de observações individuais e amplitudes móveis e ainda as cartas de controlo standardizadas (cartas do tipo Z e W_{MR}) e a característica da qualidade selecionada para controlo metrológico é a massa de produto incluindo a embalagem, descrita no tópico 2.5.2 Controlo da qualidade - Produto Acabado, mas precisamente, Controlo Metrológico.

4.2. Recolha de dados

Os dados utilizados para a construção das cartas e determinação dos limites de controlo, foram dados recolhidos na empresa durante o período de execução do trabalho final de mestrado. A recolha de dados teve dois períodos distintos. Numa primeira fase foram recolhidos os dados para a construção das cartas de observações individuais e amplitudes móveis para cada tipo de produto e embalagem.

Dado que a dimensão das amostras é de $n=1$, recolheu-se um mínimo de amostras de modo a implementar as cartas de controlo do tipo X e MR para vários produtos e traçar os limites de controlo experimentais e determinar os parâmetros do processo (média e desvio padrão) a utilizar posteriormente na construção das cartas de controlo do tipo Z e W_{MR} que foram usadas para monitorizar o controlo metrológico na fase II da aplicação das cartas de controlo.

Para os produtos que não se conseguiu recolher um máximo de 100 amostras determinou-se um mínimo de 50 amostras para proceder a construção das cartas de controlo. Para os

restantes produtos que não se conseguiu reunir o número mínimo de amostras necessárias não foram construídas as referidas cartas de controlo nesta fase.

Antes de construir as cartas de controlo foram agrupados os produtos acabados de modo a construir uma carta para cada produto intermédio uma vez que vários produtos acabados correspondem ao mesmo produto intermédio. Os produtos acabados correspondem a designação comercial dos detergentes, mas estas diferentes designações correspondem a um mesmo produto interno designado produto intermédio. Para a monitorização do processo segundo as características em estudo o interesse reside sobre os produtos intermédios e o controlo da qualidade e respetivas cartas serão construídas tendo por base estes produtos.

Na Tabela 9 encontram-se identificados os produtos para os quais foram construídas as cartas de controlo, assim como as suas respetivas quantidades nominais e o número total de amostras utilizadas.

Tabela 9 - Identificação dos produtos utilizados para construção das cartas de controlo.

Produto	Quantidade nominal (L)	Número total de amostras
Produto 101	0,75	93
Produto 102	1	75
Produto 103	5	84
Produto 104	5	100
Produto 105	0,75	60
Produto 106	0,75	75
Produto 107	10	81
Produto 108	5	85
Produto 109	5	83
Produto 110	0,5	66
Produto 111	5	100

4.3. Procedimento para implementação do controlo estatístico do processo

Com base nos conceitos desenvolvidos nos capítulos 2 e 3, implementou-se o controlo estatístico do processo na fase do controlo metrológico, seguindo as seguintes etapas:

Fase 1

Construção das cartas de controlo X e MR para a característica escolhida.

Analises das cartas de controlo para verificar se o processo se encontra sob controlo estatístico.

Verificação do pressuposto da normalidade dos dados.

Estimação dos parâmetros do processo (a média e o desvio padrão).

Análise da capacidade do processo (verificar se o processo cumpre com as especificações).

Tomar medidas corretivas caso o processo não for capaz de cumprir com as especificações.

Fase 2

Verificar se a homogeneidade das variâncias utilizando o método empírico.

Construção das cartas de controlo Z_x e W_{MR} , usando os limites de controlo determinados na fase I de implementação do SPC (limites experimentais).

Utilização da regra 1 para deteção de causas assinaláveis da variação, ou seja, um ou mais pontos fora dos limites de controlo.

Monitorização do processo, caso seja verificada alguma causa especial da variação tomar medidas corretivas adequadas.

4.4. Construção das cartas de controlo

Após a recolha dos dados e com o auxílio do excel procedeu-se a construção das cartas de controlo para o controlo metrológico, determinando os parâmetros de controlo do

processo, a média e o desvio padrão, assim como os limites de controlo experimentais a utilizar na fase II, ou seja, a fase de monitorização.

4.4.1. Cartas de controlo fase I

O processo para a fase I do controlo estatístico utilizado é o mesmo para todos os produtos, sendo assim, só se apresentou o método para uma carta realçando que para os outros produtos se apresentam os resultados no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I (Figura 42 a Figura 71).

4.4.1.1. Determinação dos limites de controlo

O produto a apresentar é o **Produto 110 0,5L**, cuja linha de enchimento é Semi-automático.

Para determinar os limites de controlo utilizaram-se as equações (10) a (15) apresentadas no capítulo 3, sendo assim:

Carta de Observações Individuais – Carta X

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0,60208 + 3 \frac{0,00392}{1,128} = 0,61250 \text{ kg}$$

$$LC = \bar{x} = 0,60208 \text{ kg}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0,60208 - 3 \frac{0,00392}{1,128} = 0,59165 \text{ kg}$$

Carta de Amplitudes Móveis – Carta MR

$$LSC = D_4 \overline{MR} = 3,267 \times 0,00392 = 0,01281 \text{ kg}$$

$$LC = \overline{MR} = 0,00392 \text{ kg}$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} = 0 \times 0,00392 = 0 \text{ kg}$$

As figuras (Figura 33 e Figura 34) mostram as cartas de controlo para observações individuais e amplitudes móveis para a fase I, com os limites calculados anteriormente.

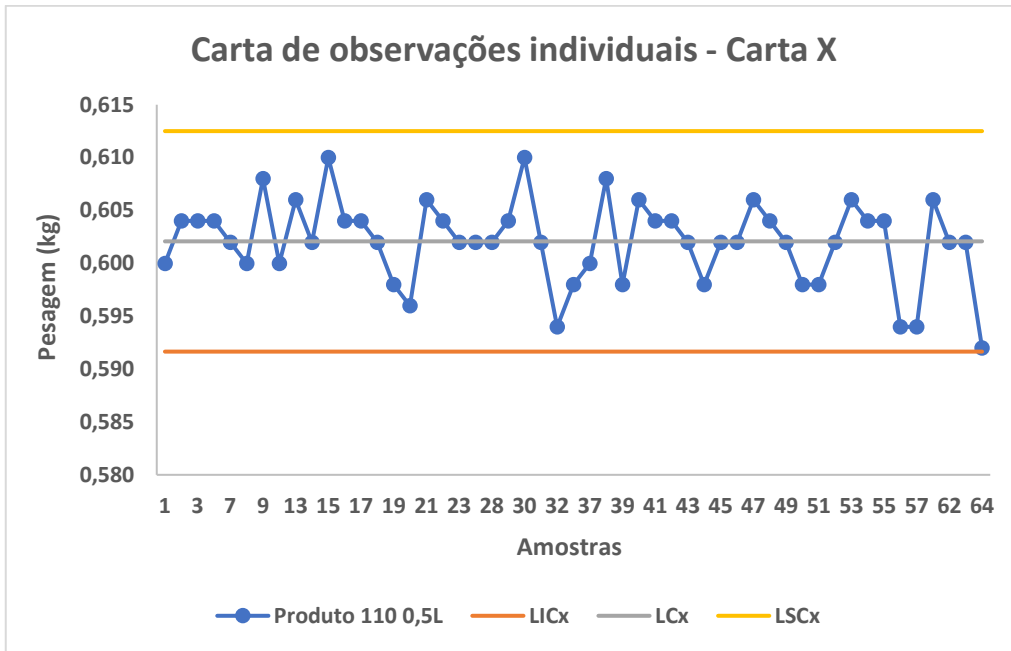


Figura 33 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 110 0,5L.

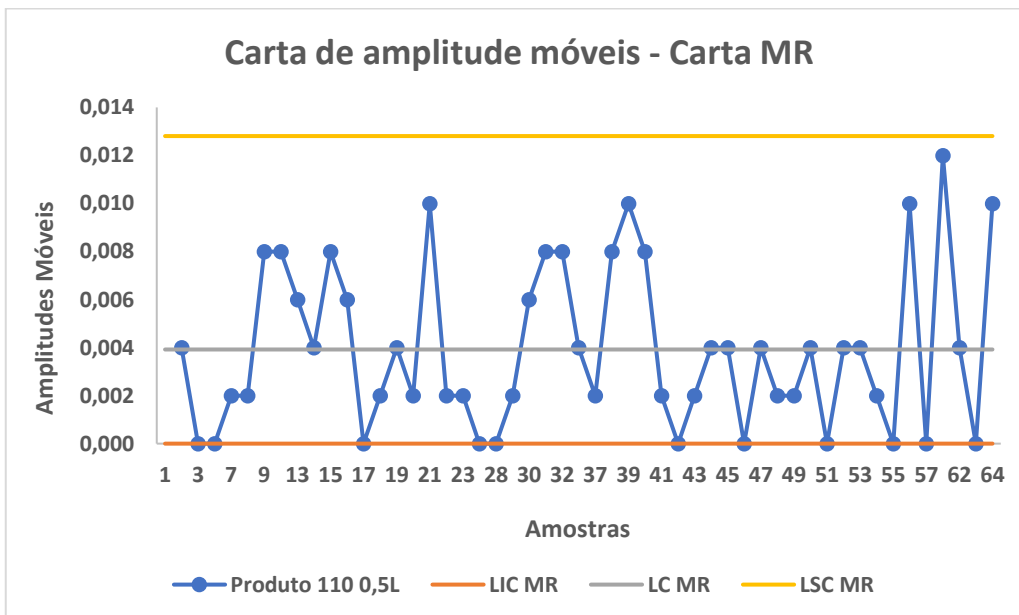


Figura 34 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 110 0,5L.

Pode-se observar nas cartas construídas para a fase I, que não há presença de causas assinaláveis, podendo ser utilizadas para a monitorização na fase II. Por análise das cartas de controlo construídas pode-se verificar que o processo se encontra sob controlo estatístico. Com base no número preliminar de observações recolhidas do processo sob controlo estatístico também é possível determinar a média e o desvio padrão do processo para a característica massa referente ao produto em análise.

4.4.1.2. Verificação da normalidade dos dados

Para construção das cartas de controlo de observações individuais de amplitudes móveis é muito importante a verificação da normalidade dos dados. Para tal utilizou-se o gráfico de probabilidade normal com o auxílio da folha excel.

De modo a proceder a construção do gráfico de probabilidade normal, seguiu-se os seguintes passos:

1. Ordenou-se os dados por ordem crescente de grandeza.
2. Atribuiu-se o número de ordem que indica a posição ou o nível de cada observação.
3. Calculou-se o valor de α e z recorrendo às equações (38) e (39).
4. Representou-se graficamente os valores obtidos.

$$\alpha = \frac{i - 0,5}{m} \quad (38)$$

Onde:

i – Posição ou nível de observação

m – Número total das observações

Para calcular o valor do z , utilizou-se a função inversa da distribuição cumulativa normal

$$Z = (INV.S.NORM(\alpha)) \quad (39)$$

onde o pressuposto se verifica, podendo assim observar na Figura 35.

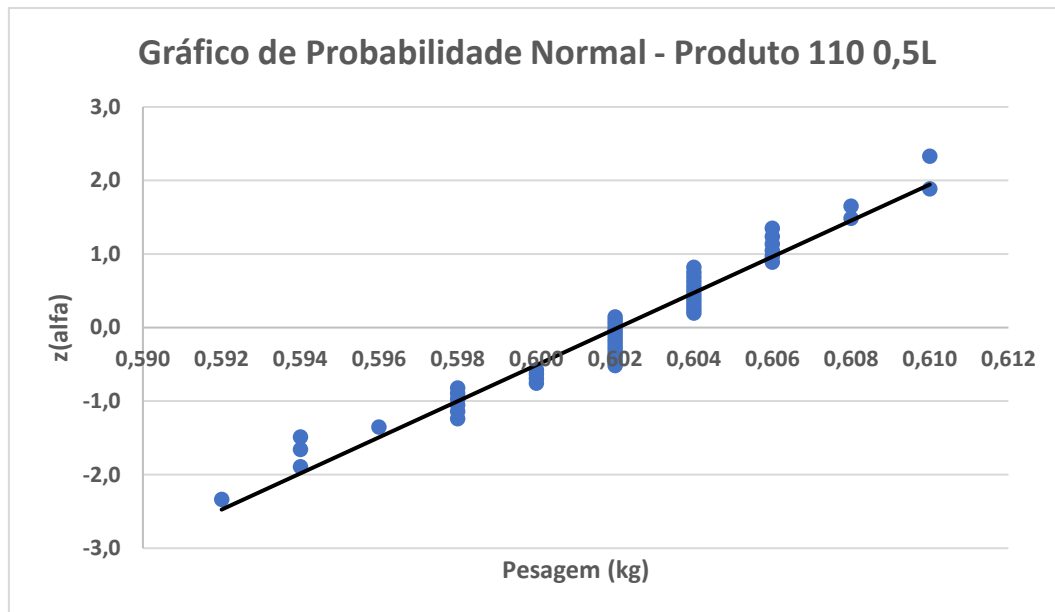


Figura 35 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 110 0,5L.

A verificação da normalidade das observações foi realizada previamente à construção de todas as cartas de observações individuais e amplitudes moveis tal como se apresenta no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

4.4.1.3. Estimação dos parâmetros de controlo

Tendo o processo sob controlo estatístico, e o pressuposto da normalidade dos dados verificados, procedeu-se a estimação dos parâmetros de controlo e a análise da capacidade do processo em cumprir com a especificação.

Os estimadores dos parâmetros do processo são dados pelas equações:

$$\hat{\mu} = \bar{x} = 0,60208 \text{ kg}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = \frac{0,00392}{1,128} = 0,00348 \text{ kg}$$

4.4.1.4. Análise da capacidade do processo

Para analisar a capacidade do processo, inicialmente foram feitas as correções das tolerâncias de cada produto com as densidades de modo a determinar os limites de especificações. As densidades utilizadas estão disponíveis na folha de excel do controlo

metrológico e os Erros Admissíveis por Defeito (EAD) são estabelecidos no Quadro N.º 1 da Portaria n.º. 1198/91 de 18 de Dezembro que se encontra no Anexo V – Erros admissíveis por defeito (Figura 72).

$$Tolerância = Densidade \times EAD = 1037 \times 0,015 = 0,016 \text{ kg}$$

$$Nominal = Quantidade Nominal \times densidade = 0,5 \times 1,037 = 0,519 \text{ kg}$$

$$LIE = Quantidade nominal - Tolerância + Tara = 0,519 - 0,016 + 0,068 = 0,571 \text{ kg}$$

$$LSE = Quantidade nominal + Tolerância + Tara = 0,519 + 0,016 + 0,068 = 0,603 \text{ kg}$$

A capacidade do processo foi determinada pelas equações (19), (22), (23) e (24) apresentadas no capítulo 3, visto que estamos perante um produto com especificação bilateral.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{0,603 - 0,571}{6 \times 0,00348} = 1,53$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{0,60208 - 0,571}{3 \times 0,00348} = 2,98$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{0,603 - 0,60208}{3 \times 0,00348} = 0,09$$

$$C_{pk} = \text{Min}[(C_{pk})_I, (C_{pk})_S] = (C_{pk})_S = 0,09$$

$C_p = 1,53$ por análise do índice de capacidade potencial pode-se verificar que o processo é potencialmente capaz de cumprir com as especificações uma vez que a variabilidade total do processo (6sigma) é inferior ao intervalo de especificação.

No entanto ao calcular o índice C_{pk} verifica-se que o processo está muito descentrado e que o índice de capacidade inferior é muito maior que o índice de capacidade superior o que mostra que a média do processo está bem acima do valor alvo de especificação e como tal o enchimento está a ser efetuado por excesso.

Na perspectiva do cliente tal não deverá ser problemático uma vez que a empresa está a sobredosar o produto na embalagem. No entanto na perspectiva da organização este deverá ser um aspeto a corrigir e centrar a média do processo com o valor alvo de especificação uma vez que tal permite racionalizar recursos.

4.5. Cartas de controlo fase II – Carta Z e W_{MR}

Na fase II da implementação das cartas de controlo, a fase de monitorização, utilizou-se a carta da normal padronizada, a carta Z e a carta W_{MR} , com o objetivo de monitorizar todos os produtos numa única carta de controlo.

Uma vez que se verificou a estabilidade nos processos na Fase I, efetuou-se o teste da verificação da homogeneidade das variâncias utilizando o Método Empírico apresentada no subcapítulo 3.8., no qual se concluiu que as variâncias são significativamente diferentes impossibilitando a utilização das cartas de controlo de diferenças, prosseguindo à implementação das cartas Z e W_{MR} .

De seguida implementaram-se as cartas Z e W_{MR} para cada linha de enchimento, ou seja, linha de enchimento semi-automático, automático e manual. Para os três processos de enchimento foram construídas cartas de controlo do tipo Z e W_{MR} . Este tipo de cartas possibilita assim seguir na mesma carta a produção de produtos que têm diferentes especificações uma vez que previamente se determinaram os parâmetros do processo para cada um dos produtos através da construção de cartas de observações individuais e amplitudes móveis (ver Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I). Depois de ter os parâmetros do processo para todos os produtos é assim simples representar produtos com diferentes médias e diferentes desvios padrão numa mesma carta pois previamente procede-se à standardização de forma a ser possível a sua representação numa mesma carta.

As cartas do tipo Z/ W_{MR} foram construídas para os três tipos distintos de enchimento de forma a permitir a monitorização do processo ao longo do tempo e poder identificar numa única carta situações de fora de controlo estatístico (Figura 36 à Figura 41).

Estas cartas representam a monitorização do processo ao longo de 11 meses de trabalho e nela estão contidos os produtos fabricados nesse período para os quais se dispõe de parâmetros de processo previamente determinados. Nestas cartas estão representados

1215 lotes de produtos em sequência temporal. Na representação gráfica apresentada não é possível ver o detalhe para análise de padrões não aleatórios, no entanto o único teste utilizado foi o Teste 1 pelo que a análise efetuada foi apenas aos pontos que se encontram para além dos 3 sigma. No entanto, verificou-se que nas ambas as linhas há presença de variadas causas assinaláveis, que vão ocorrendo no decurso da produção sendo essas causas provenientes de várias fontes como possam ser por exemplo, devido a variações das densidades dos produtos, presença de ar no do enchimento do produto intermédio, peso do material de embalagem, ajustes das máquinas de enchimentos e mão de obra, entre outros.

Verificação da homogeneidade das variâncias

Para verificar a homogeneidade das variâncias utilizou-se o pressuposto apresentado na equação (26). Uma vez que o pressuposto não se verifica, conclui-se que as variâncias são significativamente diferentes, sendo que os resultados obtidos se encontram apresentado na Tabela 16 do Anexo VI – Teste da homogeneidade das variâncias – Método Empírico.

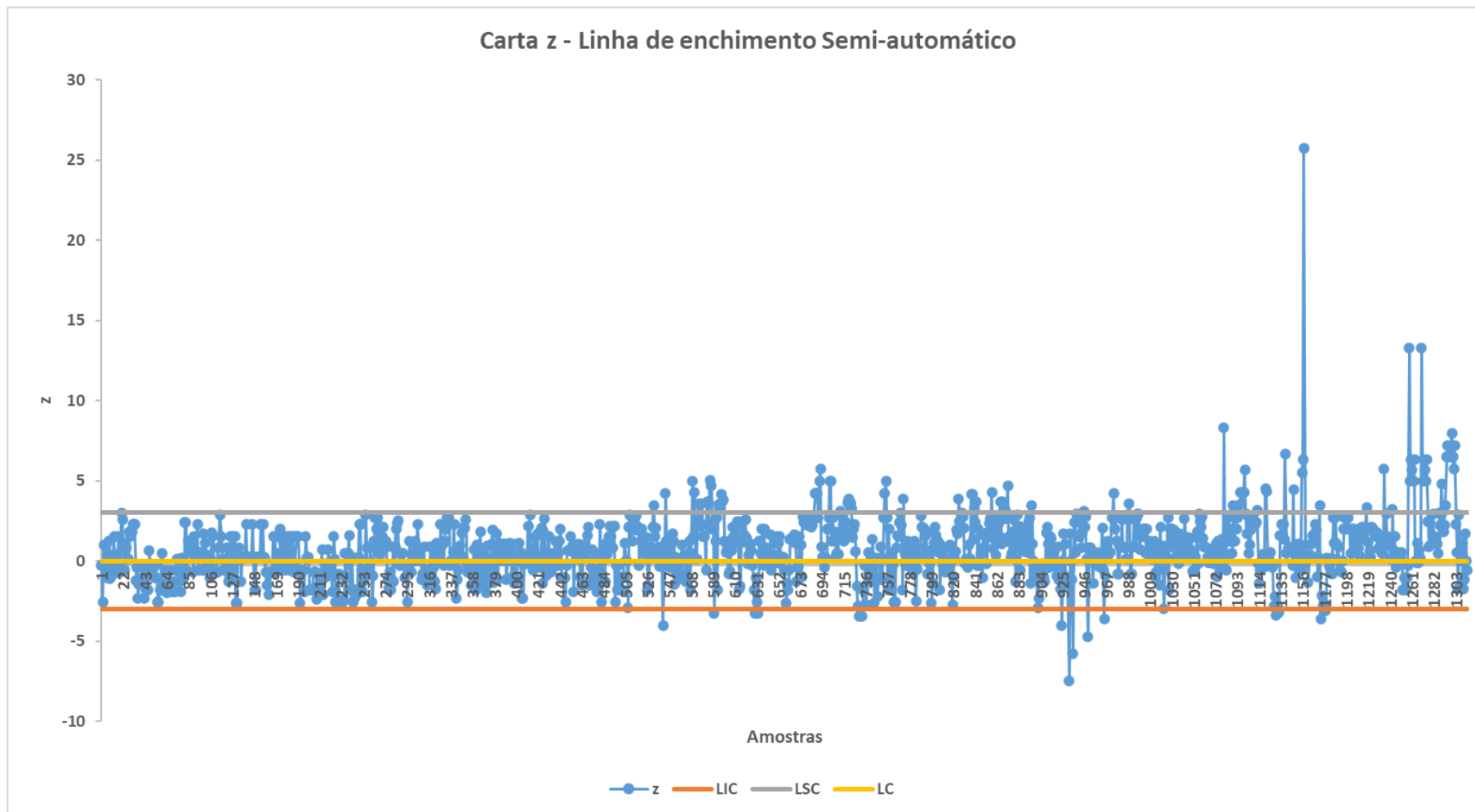


Figura 36 - Carta Z - Linha de enchimento semi-automático.

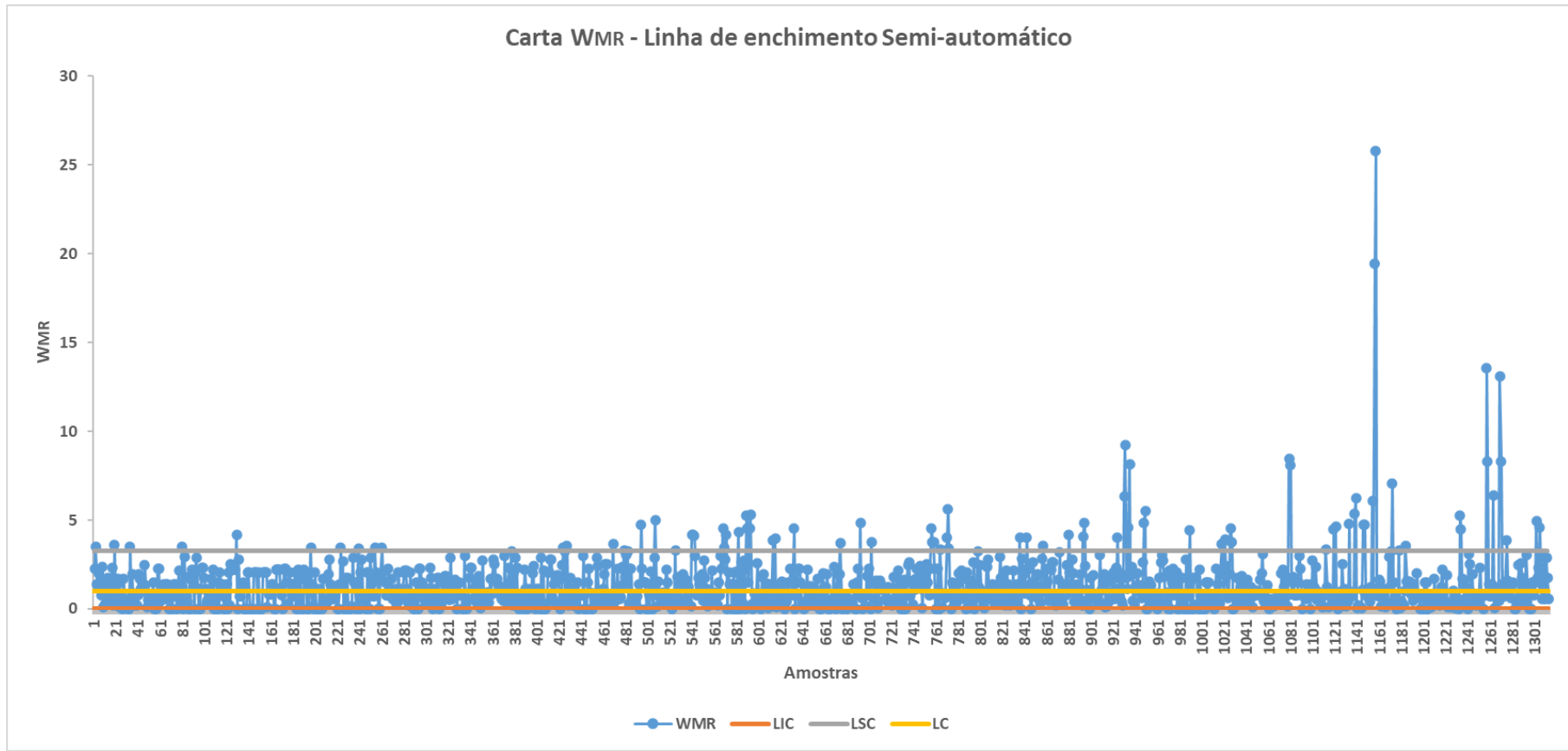


Figura 37 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento semi-automático.

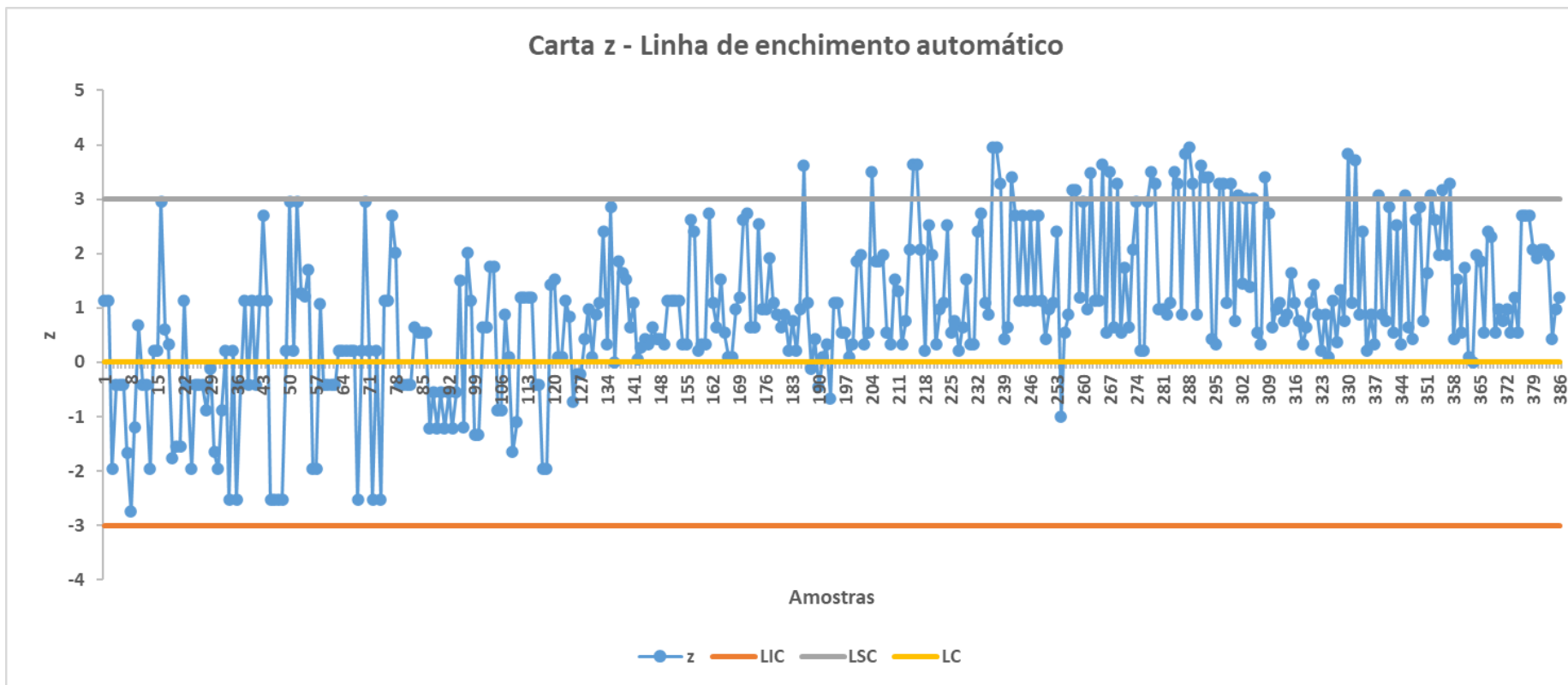


Figura 38 - Carta Z - Linha de enchimento automático.

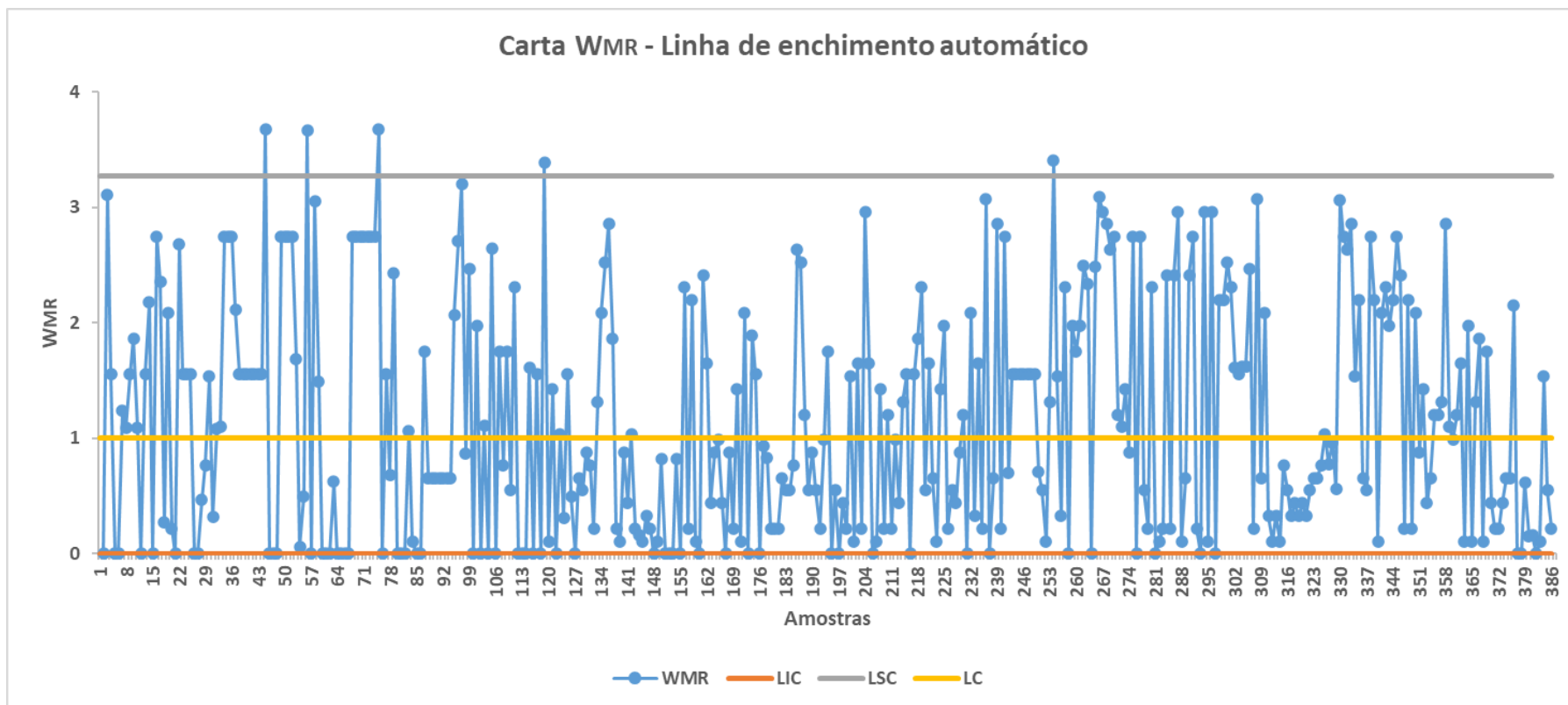


Figura 39 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento automático.

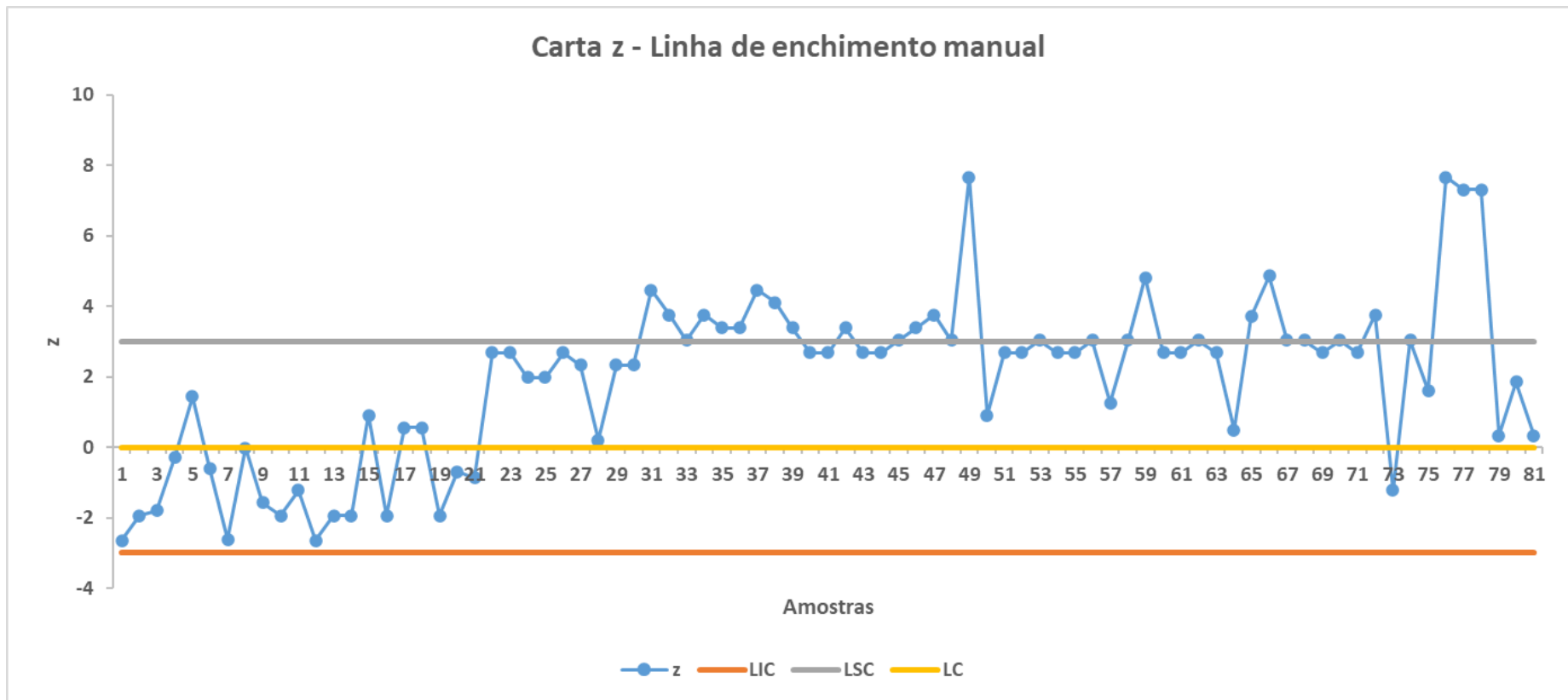


Figura 40 - Carta Z - Linha de enchimento manual.

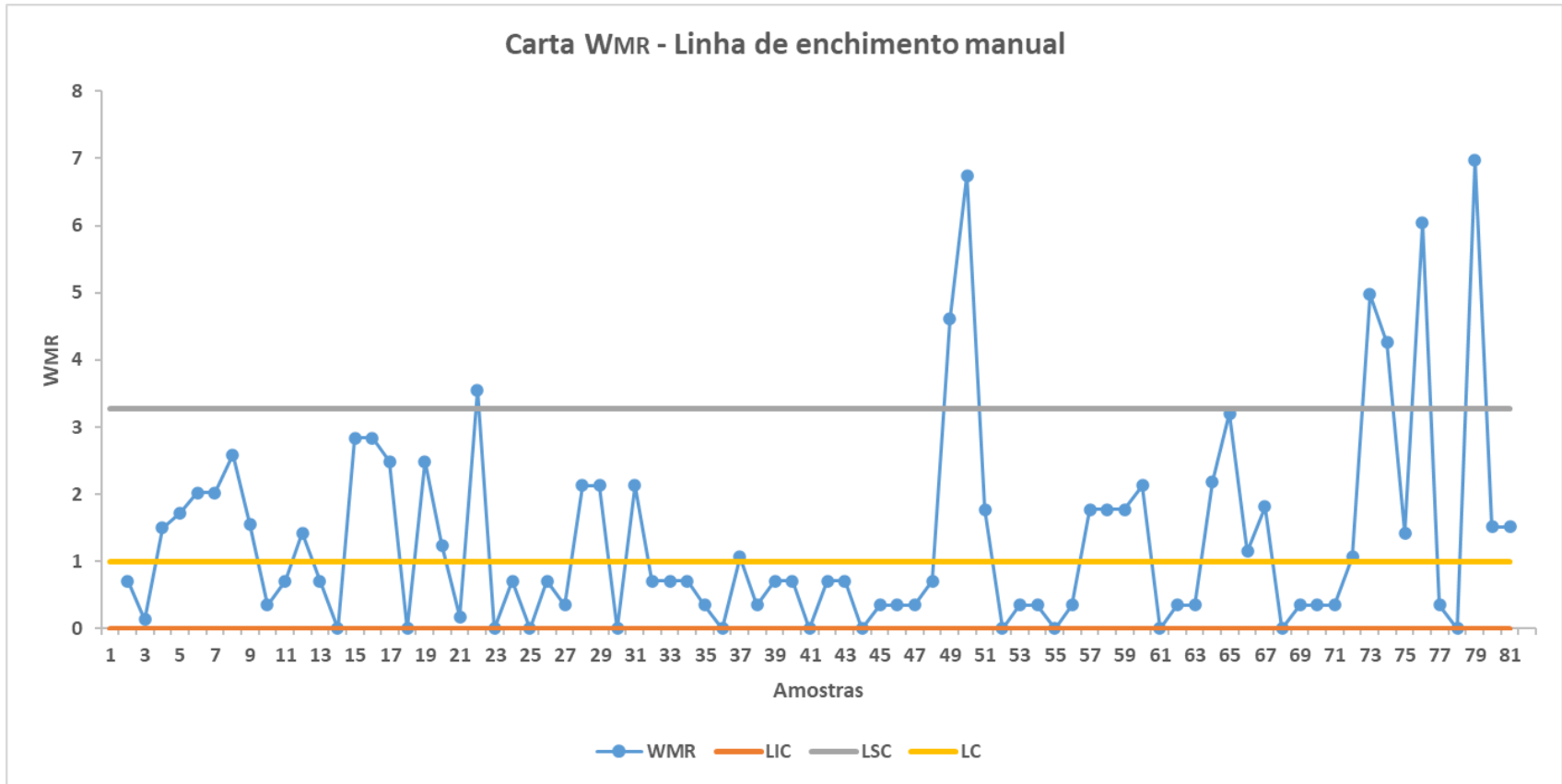


Figura 41 - Carta W_{MR} - Linha de enchimento manual.

5. Capítulo 5

5.1. Resultados e Discussões

Na fase I de implementação do controlo estatístico do processo foram construídas as cartas de observações individuais para a análise da massa do produto acabado embalado. Tendo em consideração que a empresa trabalha com distintos tipos de produtos a embalar cada qual com a sua densidade e também com diferentes volumes de embalagem numa primeira fase foi necessário construir uma carta de observações individuais e amplitudes móveis para cada tipo de produto e volume de embalagem de plástico de forma a poder determinar os parâmetros do processo (média e desvio padrão) por produto e volume de embalagem.

Na construção das cartas de controlo para a Fase I fez-se uso unicamente do teste 1 que afirma que o processo estará fora de controlo estatístico se existirem observações para além dos três sigma. Uma vez que só foi usado o teste 1 para a análise efetuada na Fase I para determinação dos parâmetros do processo tal constituiu uma forte limitação uma vez que numa análise mais aprofundada recorrendo a outros testes (do conjunto de oito testes para análise de padrões não aleatórios) tal teria levado à conclusão que vários processos poderiam apresentar problemas de estabilidade e conseqüentemente os parâmetros do processo assim determinados sofrerem de problemas de precisão na sua determinação.

Para cada produto que foram, contudo, construídas as cartas de controlo e serão apresentados e discutidos de seguida os resultados obtidos na Fase I relativamente aos limites de controlo, a verificação do pressuposto da normalidade dos dados, a estimação dos parâmetros do processo tendo consciência das limitações dos mesmos e por fim as análises das capacidades do processo.

Para o **Produto 101 0,75L** cujo a quantidade nominal é 0,75L e a linha de enchimento é semi-automático e manual obteve-se os seguintes resultados:

Os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 0,77275 kg, LC = 0,76477 kg e LIC = 0,75679 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,00980 kg, LC = 0,00300 kg e LIC = 0 kg.

Verificou-se o pressuposto da normalidade dos dados e estimou-se os parâmetros do processo obtendo uma média de 0,76477 kg e um desvio padrão de 0,00266 kg.

Feita a análise da capacidade do processo, concluiu-se que o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações uma vez que o resultado obtido é de 1,75, $C_p > 1,33$. Obteve-se um $(C_{pk})_i = 2,35$ e $(C_{pk})_s = 1,16$, logo $C_{pk} = (C_{pk})_s = 1,16$. O processo encontra-se descentrado para o lado superior de especificação uma vez que $C_{pk} < C_p$.

A capacidade potencial do processo é de 1,75 o que mostra que o processo tem uma margem de tolerância de $1/1,75 = 0,57$ o que significa que o processo está a fazer uso de 57% da banda de especificação.

No entanto quando se determina o índice C_{pk} verifica-se que o processo se encontra bastante descentrado pois o valor de C_{pki} é maior que o valor de C_{pks} o que mostra que a média do processo é superior ao valor alvo de especificação. O processo é capaz com um valor de 1,16 mas contudo encontra-se descentrado o que mostra que é necessário fazer algum trabalho para centrar a média com o valor alvo de especificação. Para tal é necessário baixar em média a quantidade de produto a colocar em cada embalagem de forma a centrar a média com o valor de especificação. Do ponto de vista do fabricante significa que está a encher as embalagens por excesso o que também não será proveitoso na perspetiva da empresa.

No que diz respeito ao **Produto 102 1L**, cujo a linha de enchimento é semi-automático, obteve-se os seguintes resultados:

Os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 0,94644 kg, LC = 0,92503 kg e LIC = 0,90362 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,02630 kg, LC = 0,00805 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes moveis para o produto 102 1L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Verificou-se o pressuposto da normalidade dos dados e estimou-se os parâmetros do processo obtendo uma média de 0,92503 kg e um desvio padrão de 0,00714 kg.

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que o processo não é capaz de produzir de acordo com as especificações, visto que $C_p = 0,61 < 1,33$.

Obteve-se um $(C_{pk})_i = 0,80$ e um $(C_{pk})_s = 0,42$, então $C_{pk} = 0,42$. O processo encontra-se descentrado para o lado superior da especificação, pois, $Min[(C_{pk})_I, (C_{pk})_S] = (C_{pk})_S = 0,42$, pelo qual a média do processo é superior ao valor alvo de especificação estando a empresa a sobredosar o produto.

Relativamente ao **Produto 103 5L**, com linha de enchimento manual e semi-automático, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 5,3077 kg, LC = 5,29290 kg e LIC = 5,27809 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,01820 kg, LC = 0,00557 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 103 5L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

O pressuposto da normalidade dos dados também foi verificado, e da estimação dos parâmetros do controlo resultou uma média de 5,29290 kg e um desvio padrão de 0,00494 kg. Verificou-se que o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações, sendo que $C_p = 5,20 > 1,33$. Obteve-se um $(C_{pk})_i = 5,32$ e $(C_{pk})_s = 5,07$, no entanto $C_{pk} = 5,07$ concluindo assim, que o processo está descentrado para o lado superior de especificação, pois $C_p > C_{pk}$.

Para este produto em particular os parâmetros do processo oferecem muitas dúvidas e o desvio padrão do processo aparenta ser “artificialmente” muito baixo. Observando a carta de observações individuais que se encontra no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I, pode-se verificar que as observações se encontram muito próximo da linha central o que é característico de alguma estratificação. De acordo com a distribuição normal seria expectável encontrar apenas cerca de 68% das observações na zona compreendida entre ± 1 sigma. Este valor de desvio padrão é muito diferente dos restantes desvios padrão para os diferentes produtos e volumes de enchimento. Tal incerteza no cálculo dos parâmetros do processo torna o cálculo dos índices de capacidade problemáticos uma vez que vêm neste caso anormalmente muito elevados.

Para o **Produto 104 5L**, em que a linha de enchimento é semi-automático, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 5,38400 kg, LC = 5,31576 kg e LIC = 5,24752 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,08383 kg, LC = 0,02566 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 104 5L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Verificou-se o pressuposto da normalidade dos dados, e estimou-se os parâmetros do processo obtendo uma média de 5,31576 kg e o desvio padrão de 0,02275 kg.

O valor do índice de capacidade potencial obtido, $C_p = 1,14$, sendo o valor desejável $>1,33$ verifica-se, no entanto, o processo é potencialmente capaz de produzir de acordo com as especificações uma vez que $C_p > 1$. Obteve-se um $(C_{pk})_i = 0,77$ e um $(C_{pk})_s = 1,5$, então $C_{pk} = 0,77$. O processo encontra-se descentrado ($C_p > C_{pk}$) para o lado do limite inferior de especificação.

Neste caso o processo é potencialmente capaz uma vez que o índice C_p é superior a 1 o que significa que o processo tem uma variabilidade suficientemente pequena para ser capaz de cumprir com a especificação. No entanto o processo encontra-se ligeiramente descentrado sendo necessário subir a média do processo para igualar o valor alvo de especificação.

Para o **Produto 105 0,75L**, cujo a linha de enchimento manual, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 0,97977 kg, LC = 0,96288 kg e LIC = 0,94599 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se um LSC = 0,02075 kg, LC = 0,00635 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes moveis para o produto 105 0,75L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

O pressuposto da normalidade dos dados foi verificado, e estimou-se os parâmetros do processo, onde a média obtida foi de 0,96288 kg e o desvio padrão de 0,00563 kg.

O processo é potencialmente capaz de produzir de acordo com as especificações pois, $C_p = 1,07 > 1$, obteve-se um $(C_{pk})_i = 1,18$ e um $(C_{pk})_s = 0,95$, logo, $C_{pk} = 0,95$, concluindo-se que o processo se encontra descentrado para o lado do limite superior de especificação. Mais uma vez a média do processo é superior ao valor alvo de especificação estando a empresa a sobredosar o produto.

No que diz respeito ao **Produto 106 0,75L**, em que a linha de enchimento é semi-automática os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 0,79032 kg, LC = 0,78165 kg e LIC = 0,77298 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se um LSC = 0,01065 kg, LC = 0,00326 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 106 0,75L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Verificou-se a normalidade dos dados, e da estimação dos parâmetros do controlo resultou uma média de 0,78165 kg e um desvio padrão de 0,00289 kg.

Como C_p obtido é de $1,73 > 1,33$, logo o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações. Obteve-se um $(C_{pk})_i = 1,46$ e um $(C_{pk})_s = 2,00$, então $C_{pk} = 1,46$. Sendo $C_p > C_{pk}$, conclui-se que o processo está descentrado para o lado inferior de especificação.

Este processo apresenta uma capacidade potencial elevada o que significa que a variabilidade global é muito inferior à banda de especificação sendo o processo potencialmente capaz de produzir de acordo com a especificação. No que diz respeito à localização do processo pode-se concluir que o processo se encontra descentrado, mas apesar de tudo com uma capacidade de 1,46.

Relativamente ao **Produto 107 10L**, cujo a linha de enchimento automático e semi-automático, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 10,75973 kg, LC = 10,66329 kg e LIC = 10,56685 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,11846 kg, LC = 0,03626 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 107 10L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

O pressuposto da normalidade dos dados foi verificado, obteve-se uma média de 10,66329 kg e um desvio padrão de 0,03215 kg como estimadores dos parâmetros do processo.

O processo é potencialmente capaz de produzir de acordo com as especificações, visto que $C_p = 1,60 > 1,33$. No entanto obteve-se um $(C_{pk})_i = 1,20$ e um $(C_{pk})_s = 2,00$, pelo que a capacidade efetiva do processo é de $C_{pk} = 1,20$.

Mais uma vez se pode observar que do ponto de vista de capacidade potencial o processo apresenta uma variabilidade pequena quando comparado com o intervalo de especificação o que mostra que não existem problemas de variabilidade pois o $C_p = 1,6$ valor bastante elevado. No entanto mais uma vez apesar da capacidade potencial ser elevada o processo encontra-se descentrado e por isso a sua capacidade real é de apenas 1,20 fruto dos problemas de localização. No entanto o produto está de acordo com a especificação pelo facto da sua capacidade efetiva ser superior a 1.

Para o **Produto 108 5L**, cujo a linha de enchimento é semi-automático e manual, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 5,56686 kg, LC = 5,49391 kg e LIC = 5,42096 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se um LSC = 0,08961 kg, LC = 0,02743 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 108 5L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Após a verificação do pressuposto da normalidade dos dados, calculou-se as estimativas dos parâmetros de controlo obtendo-se uma média de 5,49391 kg e um desvio padrão de 0,02432 kg.

Posteriormente fez-se a análise da capacidade do processo, verificando que o processo é parcialmente capaz de produzir de acordo com as especificações uma vez que $C_p = 1,10 > 1$.

Obteve-se um $(C_{pk})_i = 1,14$ e um $(C_{pk})_s = 1,06$, sendo assim $C_{pk} = 1,06$, concluindo que o processo se encontra descentrado para o lado do limite superior de especificação, pois $C_p > C_{pk}$. Mais uma vez concluindo que a empresa se encontra a sobredosar o produto precisando de baixar a quantidade média de enchimento de forma a certar a média do processo ao valor alvo de especificação.

Para o **Produto 109 5L**, com linha de enchimento automático, os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 5,35079 kg, LC = 5,29611 kg e LIC = 5,24143 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se: LSC = 0,06717 kg, LC = 0,02056 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 109 5L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Verificou-se o pressuposto da normalidade dos dados e estimou-se os parâmetros do controlo obtendo uma média de 5,29611 kg e um desvio padrão de 0,01823 kg.

Como $C_p = 1,41$, o processo é potencialmente capaz de produzir de acordo com as especificações.

Obteve-se um $(C_{pk})_i = 1,32$ e um $(C_{pk})_s = 1,50$, no entanto, $C_{pk} = 1,32$, logo conclui-se que o processo se encontra descentrado para o lado inferior do limite de especificação, contudo com uma capacidade de 1,32 que é um valor bastante aceitável.

Relativamente ao **Produto 111 5L**, com linha de enchimento semi-automático os limites de controlo para a carta de observações individuais obtidos foram: LSC = 5,51150 kg, LC = 5,42445 kg e LIC = 5,33740 kg.

Para a carta de amplitudes móveis obteve-se um LSC = 0,10693 kg, LC = 0,03273 kg e LIC = 0 kg.

A carta de observações individuais e a carta de amplitudes móveis para o produto 111 5L encontra-se no Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I.

Também se verificou o pressuposto da normalidade dos dados e estimou-se os parâmetros do controlo obtendo uma média de 5,42445 kg e um desvio padrão de 0,02902 kg.

Como $C_p = 0,91 < 1$, o processo não é capaz de produzir de acordo com as especificações. Obteve-se um $(C_{pk})_i = 0,86$ e um $(C_{pk})_s = 0,96$, logo, $C_{pk} = 0,86$, sendo assim, o processo se encontra descentrado para o lado inferior do limite de especificação.

As tabelas abaixo indicadas apresentam o resumo dos resultados obtidos para cada produto respectivamente (Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12).

Relativamente à Fase II, a fase de monitorização, verificou-se que as cartas Z e W_{MR} estão fora de controlo, apresentando causas assinaláveis, sendo estes casos de estudos futuros.

Neste estudo de caso verificou-se, no entanto, que na fase II existem muitas situações de produto que não cumprem com o teste 1 de análise de causas assinaláveis. Tal situação pode advir de uma fraca precisão dos valores dos parâmetros do processo calculados para cada referência de produto uma vez que na análise de padrões não aleatórios nas cartas de observações individuais e amplitudes móveis apenas se fez uso do teste 1 que diz que qualquer ponto que se encontra para além do três sigma corresponde a uma causa assinalável.

Tabela 10 - Resumo da estimação dos parâmetros do processo.

Produtos	Quantidade Nominal (L)	Parâmetros do processo	
		Média (μ) (kg)	Desvio padrão ($\hat{\sigma}$) (kg)
Produto 101	0,75	0,76477	0,00266
Produto 102	1,00	0,92503	0,00714
Produto 103	5,00	5,29290	0,00494
Produto 104	5,00	5,31576	0,02275
Produto 105	0,75	0,96288	0,00563
Produto 106	0,75	0,78165	0,00289
Produto 107	10,00	10,66329	0,03215
Produto 108	5,00	5,49391	0,02432
Produto 109	5,00	5,29611	0,01822
Produto 110	0,50	0,60208	0,00348
Produto 111	5,00	3,42445	0,02902

Tabela 11 - Resumo dos valores das densidades, tara, tolerância e nominal.

Produtos	Densidade (g/cm³)	Tara (kg)	Tolerância (kg)	Nominal (kg)
Produto 101	0,954	0,044	0,014	0,716
Produto 102	0,878	0,043	0,013	0,878
Produto 103	1,027	0,156	0,077	5,135
Produto 104	1,037	0,156	0,078	5,185
Produto 105	1,217	0,048	0,018	0,913
Produto 106	0,987	0,044	0,015	0,740
Produto 107	1,029	0,412	0,154	10,290
Produto 108	1,067	0,156	0,080	5,335
Produto 109	1,029	0,156	0,077	5,145
Produto 110	1,037	0,068	0,016	0,519
Produto 111	1,052	0,169	0,079	5,260

Tabela 12 - Resumo dos limites de especificação e capacidade do processo.

Produtos	LIE (kg)	LSE (kg)	C_p	(C_{pk})_i	(C_{pk})_s	C_{pk}
Produto 101	0,746	0,774	1,75	2,35	1,16	1,16
Produto 102	0,908	0,934	0,61	0,80	0,42	0,42
Produto 103	5,214	5,368	5,20	5,32	5,07	5,07
Produto 104	5,263	5,419	1,14	0,77	1,51	0,77
Produto 105	0,943	0,979	1,07	1,18	0,95	0,95
Produto 106	0,769	0,799	1,73	1,46	2,00	1,46
Produto 107	10,548	10,856	1,60	1,20	2,00	1,20
Produto 108	5,411	5,571	1,10	1,14	1,06	1,06
Produto 109	5,224	5,378	1,41	1,32	1,50	1,32
Produto 110	0,571	0,603	1,53	2,98	0,09	0,09
Produto 111	5,350	5,508	0,91	0,86	0,96	0,86

6. Capítulo 6

6.1. Conclusões

Este trabalho final de mestrado teve como objetivo a implementação do controlo estatístico do processo numa empresa de produção de detergentes e produtos de limpeza. O intuito do presente estudo consistiu assim na aplicação de cartas de controlo por variáveis constituindo este tipo de ferramentas uma abordagem a utilizar pela empresa de forma a melhor compreender os seus processos de produção de detergentes e produtos de limpeza. As ferramentas que foram utilizadas constituem um suporte à gestão para melhor compreender a variabilidade com que trabalham e permitir ser um ponto de partida para estudar soluções a implementar que possam contribuir para a redução da variabilidade e para poder posicionar os processos a funcionar ao seu valor alvo e desta forma poder assegurar que os processos se encontram centrados com o valor alvo de especificação. Numa primeira fase do estudo foi feita uma caracterização da empresa de forma a melhor compreender a sua estrutura organizacional e principais áreas de negócio e portfolio de produtos. Após a compreensão da área de negócios e seus principais produtos o estudo centrou-se nos processos de produção de forma a melhor compreender a forma como são produzidos e embalados. O modo como a empresa efetua o seu controlo da qualidade foi estudado de forma a compreender o tipo de controlo efetuado na empresa. Uma vez que se trata de detergentes e produtos de limpeza a empresa faz as necessárias análises físico-químicas ao produto acabado (cor, aspeto, pH, densidade, etc.) de forma a garantir que o produto está em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela empresa e as normas técnicas e como tal está em condições de aprovação e comercialização. Por análise do histórico e diagnóstico efetuado foi decidido que uma das áreas a focar para a introdução das cartas de controlo seria na fase de embalagem do produto acabado mais precisamente no controlo da pesagem do produto acabado. Até à data a empresa tem vindo a utilizar como abordagem de controlo da qualidade do processo de pesagem a inspeção aos lotes através da utilização de limites de aceitação e de limites de rejeição, fazendo o controlo de pesagem de acordo com o estabelecido no Decreto-Lei nº 310/91 e Portaria 1198/91 atendendo aos erros admissíveis por defeito de acordo com as quantidades nominais, sendo efetuada a correção a todo e qualquer lote que não se encontre de acordo com o estabelecido. A introdução das cartas de controlo foi vista pela empresa como a possibilidade de utilizar ferramentas que permitam não só a monitorização mas também

a tomada de decisão sobre as ações a desenvolver para melhorar o processo. Assim numa primeira fase, Fase I do controlo estatístico foram utilizadas cartas de controlo de observações individuais e amplitudes móveis. para os distintos produtos produzidos em diferentes tipos de embalagens com caráter exploratório com o objetivo de analisar o comportamento do processo de pesagem dos vários tipos de produtos, medir a capacidade do processo e estimar os parâmetros do processo. Como análise mais geral foi possível constatar que a grande maioria dos processos de pesagem dos vários tipos de produtos apresentou uma variabilidade reduzida quando comparada com a especificação estabelecida a partir dos erros máximos admissíveis, estabelecidos na legislação portuguesa. Também foi possível concluir que para a generalidade dos casos os processos de pesagem tendem a estar descentrados para o lado superior verificando-se que na maioria das situações a média do processo é superior ao valor alvo de especificação. Tal não é problemático na perspetiva do cliente até porque de acordo com a legislação apenas é definido um erro máximo admissível por defeito, mas na perspetiva da empresa ter o processo descentrado para o lado superior significa estar a pesar em excesso e como tal a sobre dosear o enchimento o que trará custos acrescidos para a empresa e constitui uma perda que pode ser minimizada bastando para tal centrar a média do processo ao valor alvo de especificação. O objetivo da fase II do controlo estatístico do processo consiste na monitorização dos processos de pesagem e neste sentido uma vez que a empresa possui muitos produtos acabados seria conveniente poder utilizar uma carta de controlo onde pudessem representar todas as pesagens dos diferentes produtos numa mesma carta de controlo. Uma vez que os parâmetros dos diferentes produtos (i.e. médias e desvios padrão) foram calculados na Fase I de implementação pode-se nesta segunda fase fazer uso desses parâmetros para a construção de uma carta de controlo standardizada, carta do tipo Z, onde se representam os vários produtos com diferentes parâmetros bastando para tal proceder à standardização que passa por a cada pesagem de um qualquer produto subtrair o valor do parâmetro de localização (média) e dividir pelo respetivo desvio padrão. Nessas condições foi possível marcar numa mesma carta de pesagens referências de produtos distintos com diferentes densidades e volume de embalagem. Este tipo de cartas constitui assim uma mais-valia para a organização uma vez que o processo da Fase II fica muito mais simplificado a nível de monitorização das várias referências de produtos. Neste estudo de caso verificou-se, no entanto, que na fase II existem muitas situações de produto que não cumprem com o teste 1 de análise de causas assinaláveis. Tal situação pode advir de uma fraca precisão dos valores dos parâmetros do processo

calculados para cada referencia de produto uma vez que na análise de padrões não aleatórios nas cartas de observações individuais e amplitudes móveis apenas se fez uso do teste 1 que diz que qualquer ponto que se encontra para além do três sigma corresponde a uma causa assinalável. Considera-se, no entanto, que este estudo apesar das suas limitações tem a grande vantagem de constituir um ponto de partida para a utilização futura de cartas de controlo para controlo da pesagem pois para além de permitir diagnosticar causas assinaláveis dá a oportunidade à empresa de implementar ações de melhoria no sentido de reduzir as suas perdas e alcançar níveis mais elevados de excelência organizacional.

6.2. Perspetivas Futuras

A aplicação do Controlo Estatístico do Processo na empresa BIOSOG, S.A., permitiu efetuar um diagnóstico do processo de pesagem e analisar a estabilidade e a capacidade de produzir de acordo com as especificações. Como sugestão para trabalhos futuros seria importante voltar a iniciar este processo de construção de cartas de controlo na Fase I para determinação dos parâmetros do processo pois estes são considerados críticos para as cartas que se pretendem utilizar na fase II. Neste sentido sugere-se como abordagem não utilizar uma análise retrospectiva para a construção das cartas de observações individuais e amplitudes móveis e como sugestão utilizar por exemplo cartas de controlo do tipo Q que permitem a representação de observações na carta e desde logo controlar as várias características da qualidade com um número reduzido de observações. Normalmente na fase I é necessário um número de observações elevado de preferência maior que 100 para estimar convenientemente os parâmetros do processo. Com os desenvolvimentos de Quesenberry, com as cartas Q pode-se transformar as estatísticas no instante i através dos parâmetros estimados no instante anterior considerando todos os dados ocorridos até esse instante. Com uma estimativa conveniente dos parâmetros do processo sugere-se a posterior utilização das cartas do tipo Z que deverão ser utilizadas no dia a dia para controlar o processo de pesagem das várias referências de produto. O trabalho realizado tem assim a relevância de poder ser utilizado como *roadmap* para trabalho futuro a desenvolver pela empresa.

7. Bibliografia

- 7 Basic Quality Tools: Quality Management Tools / ASQ. (n.d.). Retrieved November 19, 2021, from <https://asq.org/quality-resources/seven-basic-quality-tools>
- Broze, G. (1999). Handbook of Detergents, Part A. In *Handbook of Detergents, Part A*. <https://doi.org/10.1201/9780367803254>
- Cardoso, J. F., Valente, A. J. M., Durães, L. M. R. (2017). *Adsorção de detergentes em efluentes aquosos usando aerogéis de sílica*. <http://hdl.handle.net/10316/83075>
- Carvalho, A. V., Enrique, D. V., Chouchene, A., Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: An Overview. *Procedia Computer Science*, 181, 341–346. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.01.176>
- Chakraborti, S. (2000). Run length, average run length and false alarm rate of shewhart x-bar chart: Exact derivations by conditioning. *Communications in Statistics Part B: Simulation and Computation*, 29(1), 61–81. <https://doi.org/10.1080/03610910008813602>
- Chakraborti, S., Human, S. W., Graham, M. A. (2009). Phase I statistical process control charts: An overview and some results. *Quality Engineering*, 21(1), 52–62. <https://doi.org/10.1080/08982110802445561>
- Chandra, M. J. (2001). Statistical quality control. In *Statistical Quality Control*. <https://doi.org/10.1017/s0020269x00002437>
- Cortez, A. I. P. (2017). *Aplicação de Cartas de Controlo na análise de Pb, Cd, Cr e Ni: Controlo da Qualidade Interno dos Brancos*. run.unl.pt/handle/10362/31304
- Crosby, B. Y. P. B. (1979). How To Manage Quality So That It Becomes A Source Of Business Profits. “The Executive Who Spends Half A May Find It One Of The Most About The Author.” *New York:New American Library*, 8.
- De Souza, A. B. (2015). *A Origem e Evolução da Qualidade*. 3, 2015. <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Duffy, G. L. (2013). The ASQ Quality Improvement Pocket Guide. In *The ASQ Quality Improvement Pocket Guide*.
- Esteves, A. R. M. (2018). *Aplicação do Controlo Estatístico do Processo na definição*

- dos limites de controlo numa indústria de condimentos e temperos.*
https://repositorio.ipsantarem.pt/bitstream/10400.15/2317/1/Dissertação de Mestrado_Ana Rita Esteves.pdf
- Feigenbaum, A. V. (1983). *Armand V. Feigenbaum - Total Quality Control-McGraw-Hill Book Company (1983).pdf.*
- Ferramentas da Qualidade: Conceito e aplicação | Portal Administração.* (n.d.). Retrieved November 19, 2021, from <https://www.portal-administracao.com/2017/09/sete-ferramentas-da-qualidade-conceito.html>
- Flott, L. W. (2012a). Introduction to control charts. *Metal Finishing*, 110(6), 36–38. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(13\)70220-4](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(13)70220-4)
- Flott, L. W. (2012b). “Old” Tools vs. “New” tools: Two approaches to bas quality. *Metal Finishing*, 110(4), 51–52. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(13\)70133-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(13)70133-8)
- Fournier, B., Rupin, N., Bigerelle, M., Najjar, D., Iost, A. (2007). Comments on the mixture detection rule used in SPC control charts. *Communications in Statistics: Simulation and Computation*, 36(6), 1321–1331. <https://doi.org/10.1080/03610910701569630>
- Fu, X., Wang, R. feng, Dong, Z. yong. (2017). Application of a Shewhart control chart to monitor clean ash during coal preparation. *International Journal of Mineral Processing*, 158, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.11.019>
- Garvin, D. A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality Harvard Business Review Competing on the Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*, 87603, 17 y 50–51.
- Gejdoš, P. (2015). Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control. *Procedia Economics and Finance*, 34, 565–572. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)01669-x](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)01669-x)
- Gervásio, H. (2018). *UNIVERSIDADE ABERTA Aplicação do Controlo Estatístico do Processo na Avaliação da Qualidade da Água Consumida no Município do Lubango - Huila.*
- Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors*

- International*, 2, 100109. <https://doi.org/10.1016/J.SINTL.2021.100109>
- Juran, J. ., Gryna, F. M., Bingham, R. . (1974). *Quality Control Handbook-McGraw-Hill Book Company (1974).pdf*. McGraw-Hill Book Company.
- Kemp, S. (2006). *Quality Management Demystified*.
- Kolb, R. R., Hoover, M. L. (2012). The History of Quality in Industry. *Sandia National Laboratories, August*, 1–17. <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2012/127060.pdf>
- Lopes, B., Galamba, J., Queda, V. (2022). *BIO IE3-2_Manual do Laboratório*.
- Madanhire, I., Mbohwa, C. (2016). Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country. *Procedia CIRP*, 40, 580–583. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.137>
- Matos, A. S. (2016). *Controlo Estatístico do Processo para Número Reduzido de Dados. April*.
- Mitra, A. (2012). Fundamentals of Quality Control and Improvement: Third Edition. In *Fundamentals of Quality Control and Improvement: Third Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118491645>
- Montgomery, D. C. (2009). Introduction to Statistical Quality Control. In *Analisis Standar Pelayanan Minimal Pada Instalasi Rawat Jalan di RSUD Kota Semarang* (Sitxh Edit, Vol. 3). WILEY.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (Seventh Ed). WILEY.
- Murdoch, J. (1979). *Control Charts* (Issue July).
- NP EN ISO:2015. (2015). *Sistemas de gestão da qualidade Fundamentos e vocabulários (ISO 9000:2015)*.
- Oakland, J. S. (2003). Statistical process control. In *Transactions of the Institute of Metal Finishing*. <https://doi.org/10.1080/00202967.1993.11870994>
- Pereira, Z. L., Requeijo, J. G. (2008). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*.

- Quesenberry, C. P. (1997). *SPC Methods for Quality Improvement*.
- Ramasamy, S. (2012). *Total Quality Management*.
- Reis, M. D. O. (2017). *Aplicação do Controlo Estatístico de Processos na Indústria Vidreira*.
- Rosenfeld, P. (DaimlerChrysler C., Brown, T. K., Bo, A. (2005). *Statistical Process Control (SPC)* (Vol. 1995, Issue July).
- Shewhart, W. A. (1931). *W. A. Shewhart - Economic Control of Quality of Manufactured Product-D. Van Nostrand Company, Inc. (1931).pdf*.
- Shper, V., Adler, Y. (2017). The importance of time order with Shewhart control charts. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(6), 1169–1177.
<https://doi.org/10.1002/qre.2185>
- Tague, N. R. (2005). The Quality Book. In *American Society for Quality*.
- Woodall, W. H. (2000). Controversies and contradictions in statistical process control. *Journal of Quality Technology*, 32(4), 341–350.
<https://doi.org/10.1080/00224065.2000.11980013>

Anexos

Anexo I – Construção das cartas de controlo de Observações individuais (X) e Amplitudes Móveis (MR) para a Fase I

Produto 101 0,75L

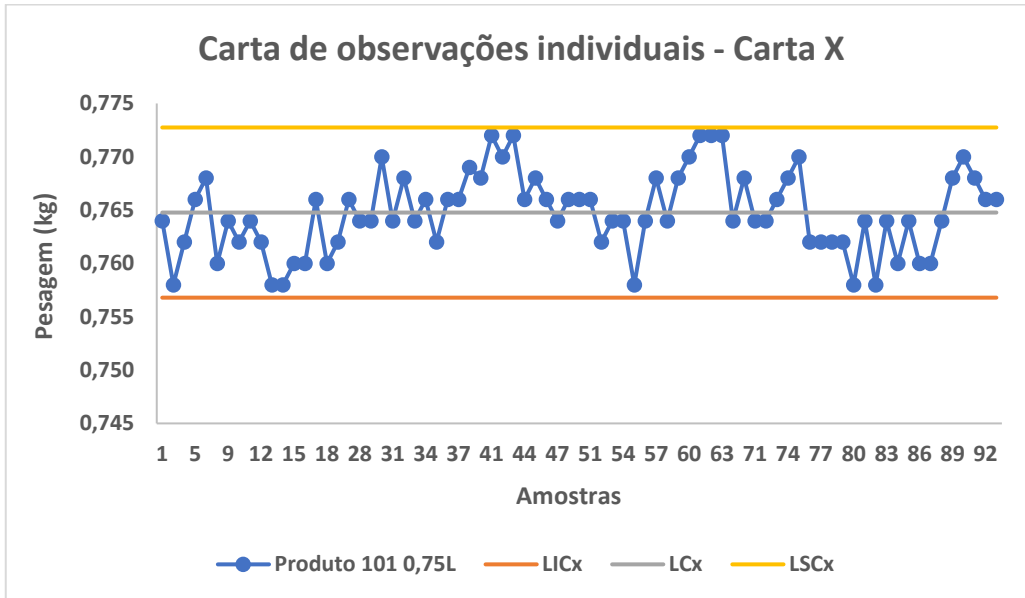


Figura 42 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 101 0,75L.

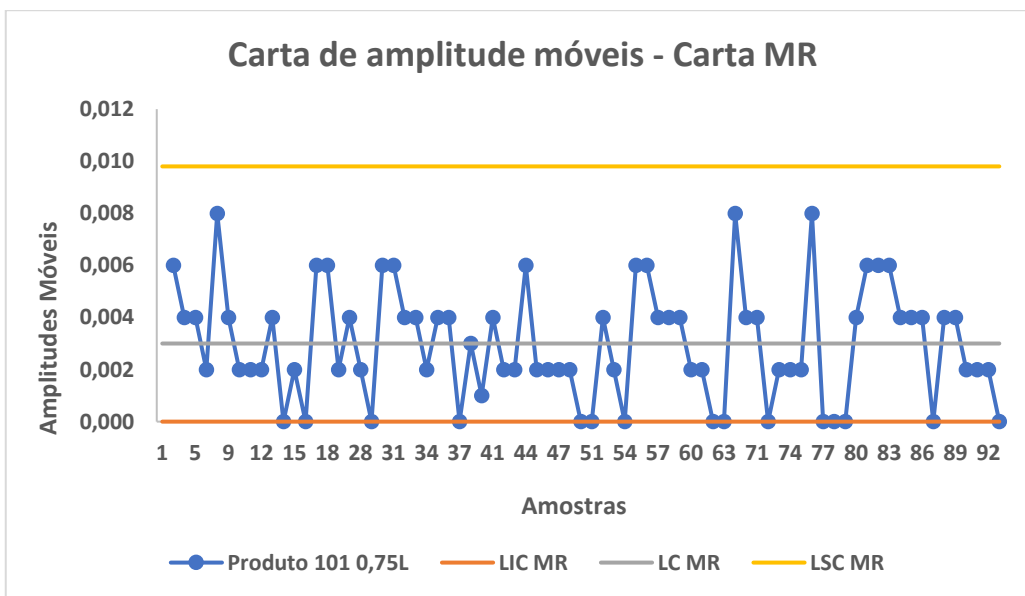


Figura 43 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 101 0,75L.

Verificação da normalidade dos dados

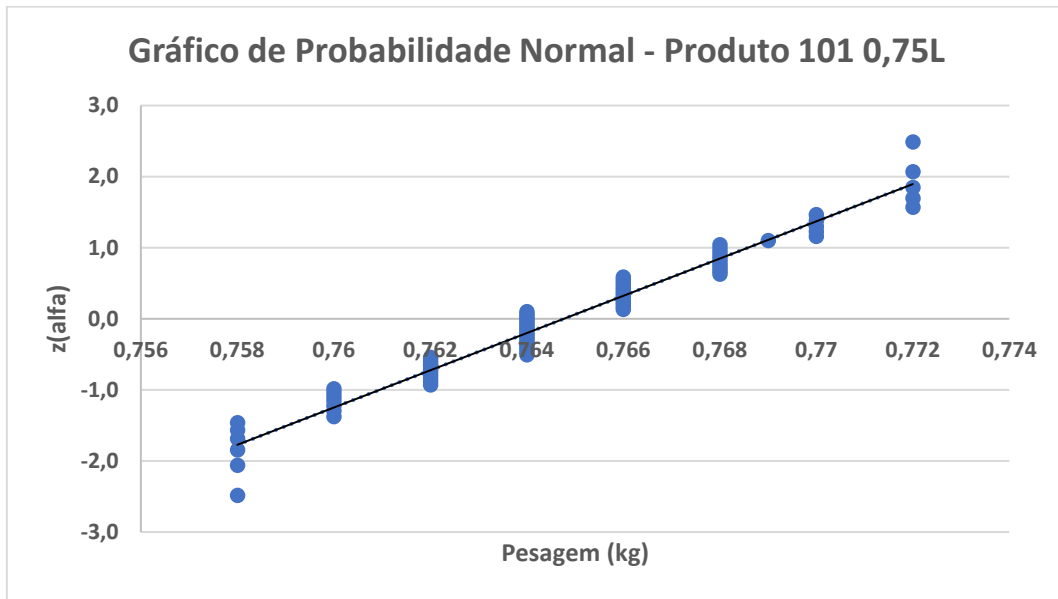


Figura 44 - Gráfico de Probabilidade Normal Produto 101 0,75L.

Produto 102 1L

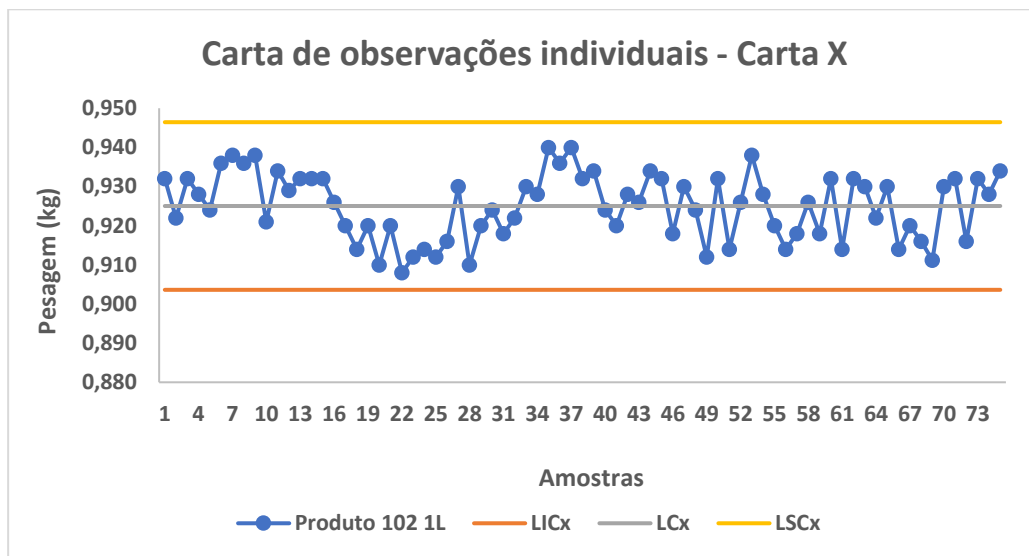


Figura 45 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 102 1L.

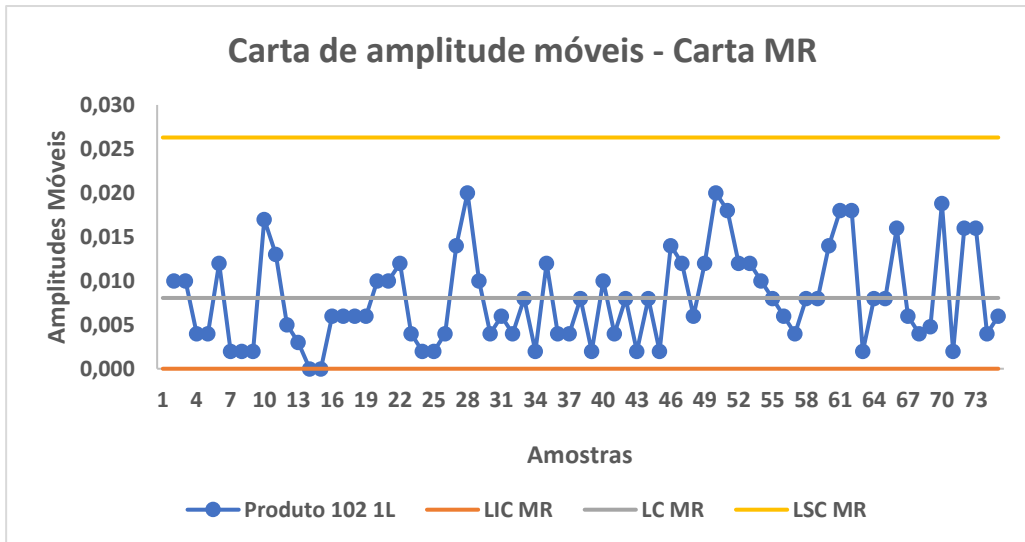


Figura 46 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 102 1L.

Verificação da normalidade dos dados

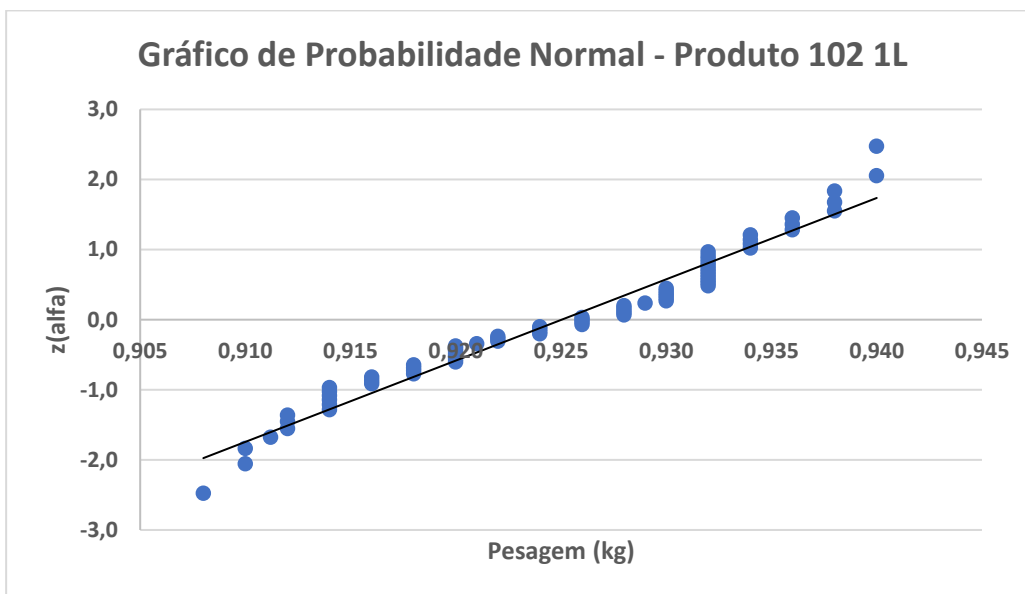


Figura 47 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 102 1L.

Produto 103 5L

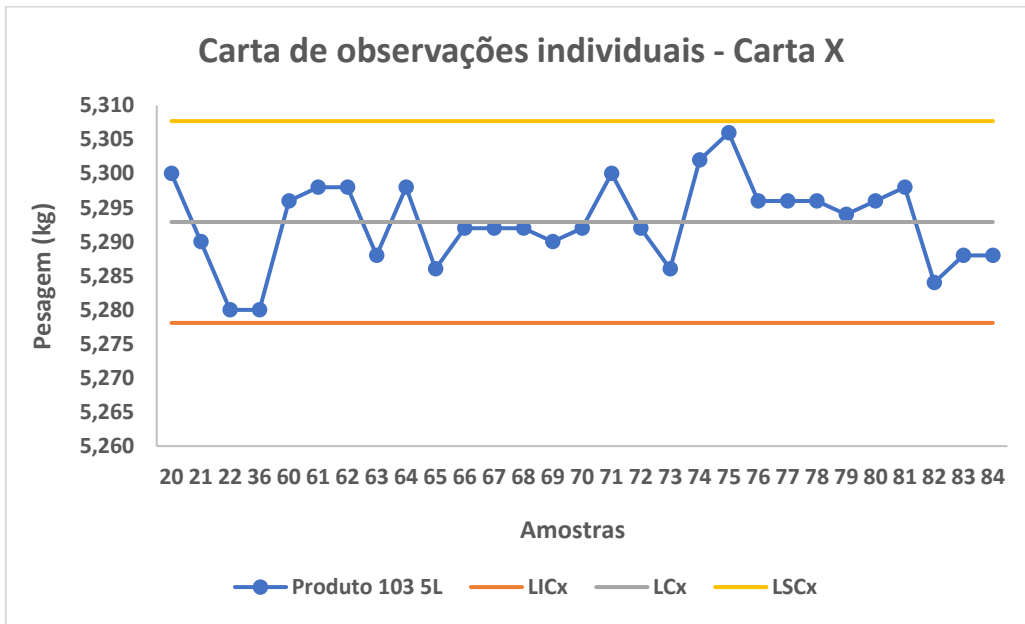


Figura 48 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 103 5L.

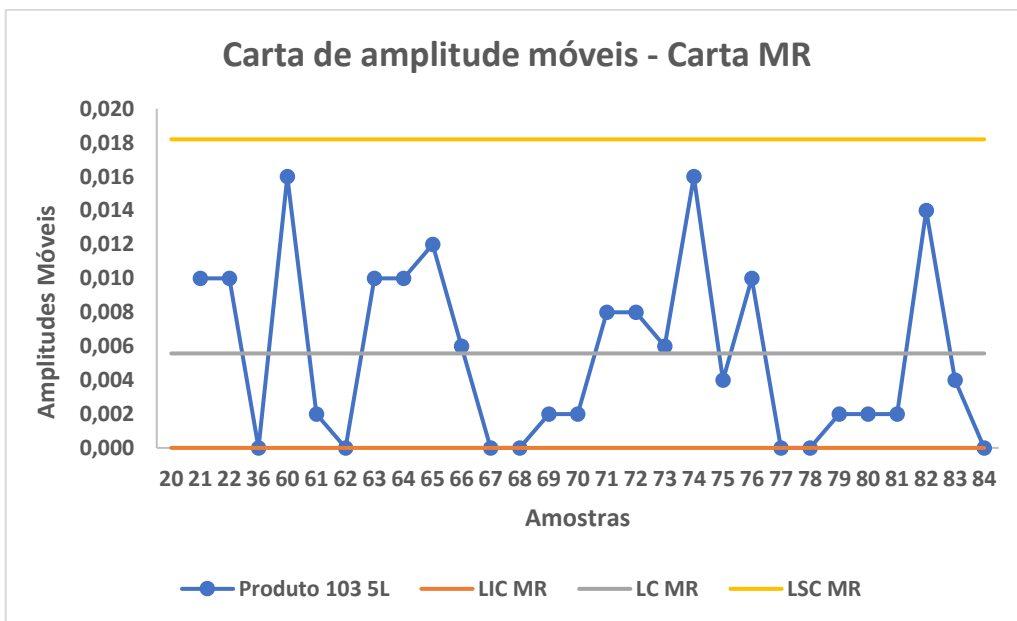


Figura 49 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 103 5L.

Verificação da normalidade dos dados

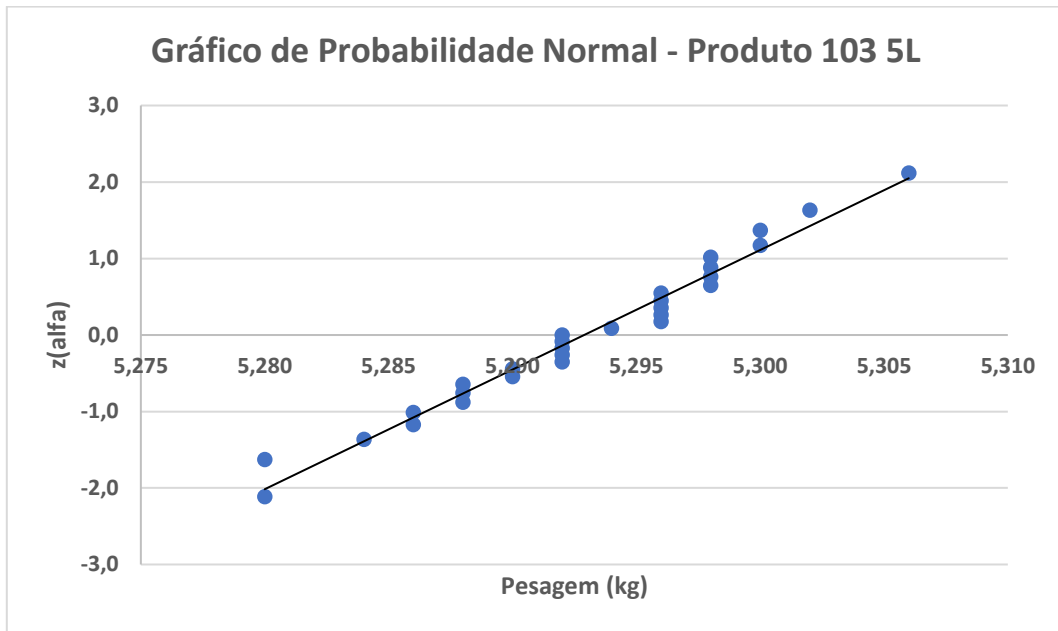


Figura 50 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 103 5L.

Produto 104 5L

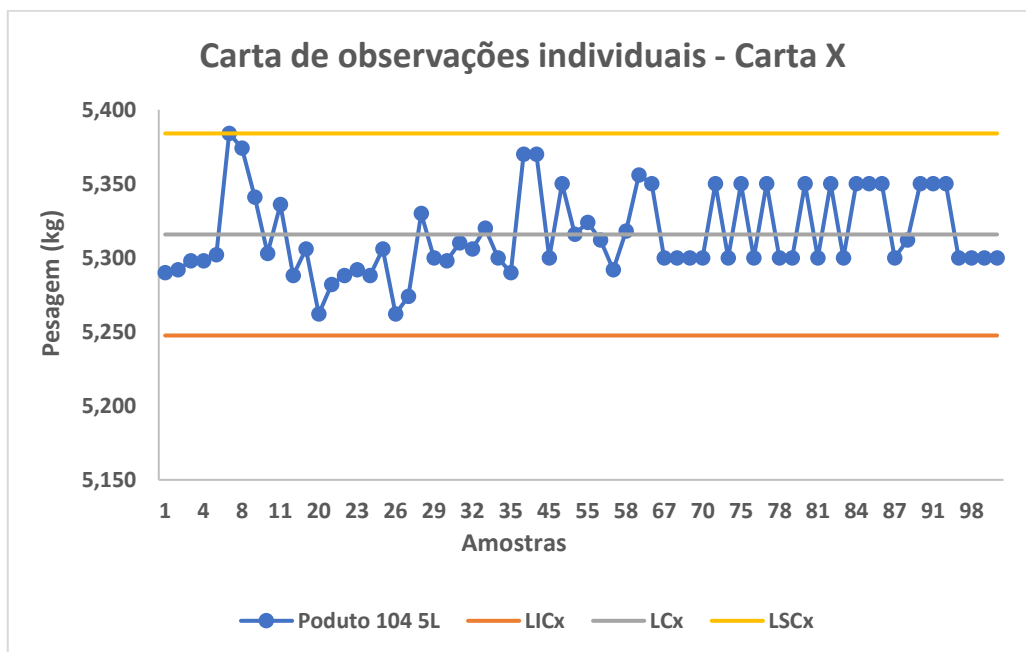


Figura 51 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 104 5L.

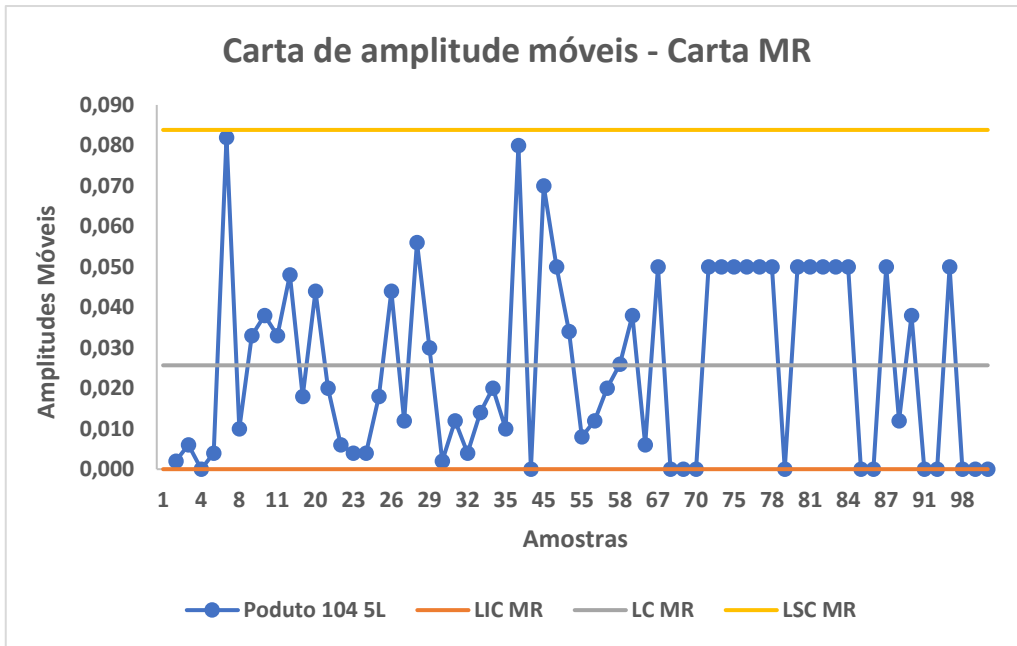


Figura 52 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 104 5L.

Verificação da normalidade dos dados

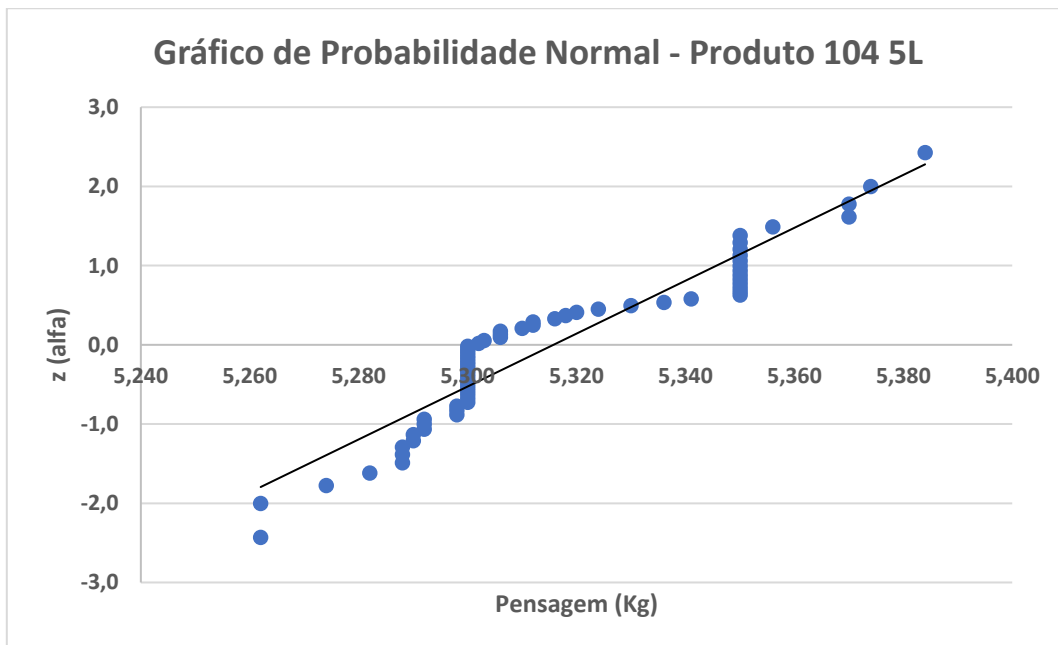


Figura 53 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 104 5L.

Produto 105 0,75L

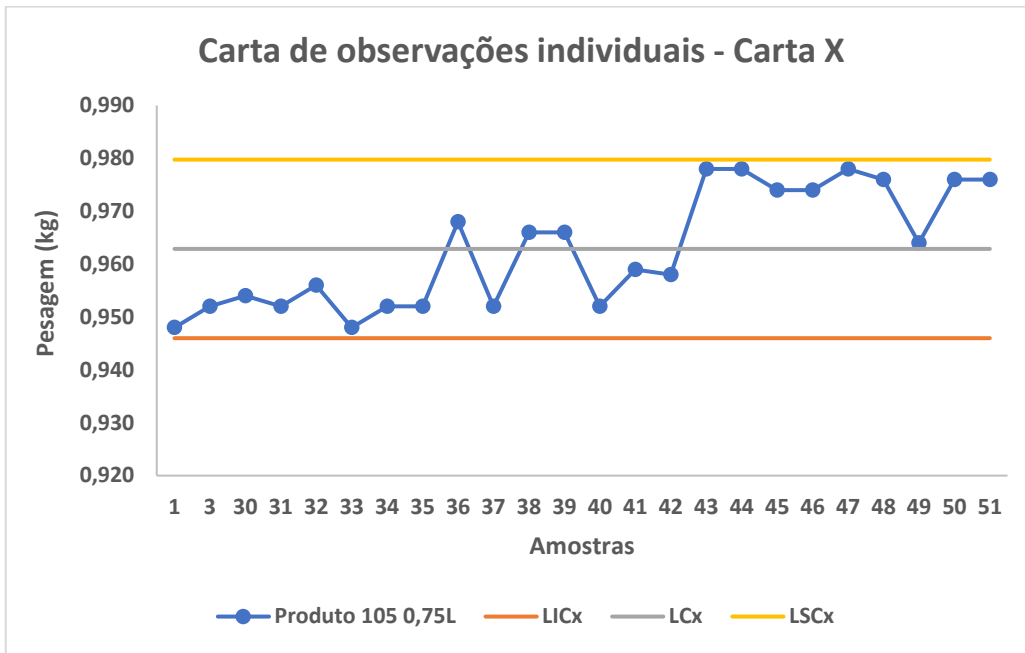


Figura 54 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 105 0,75L.

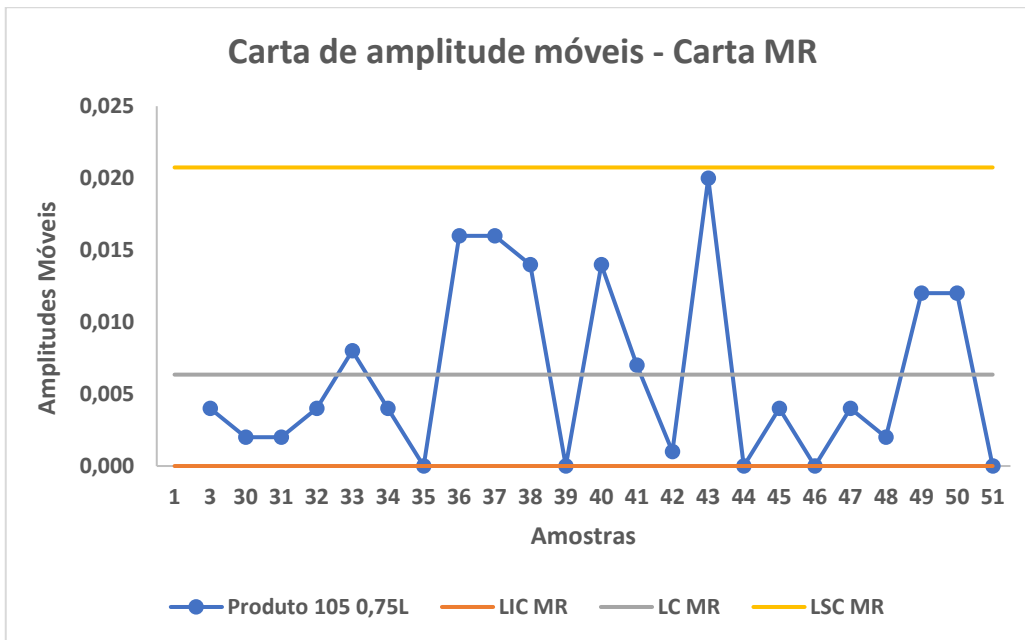


Figura 55 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 105 0,75L.

Verificação da normalidade dos dados

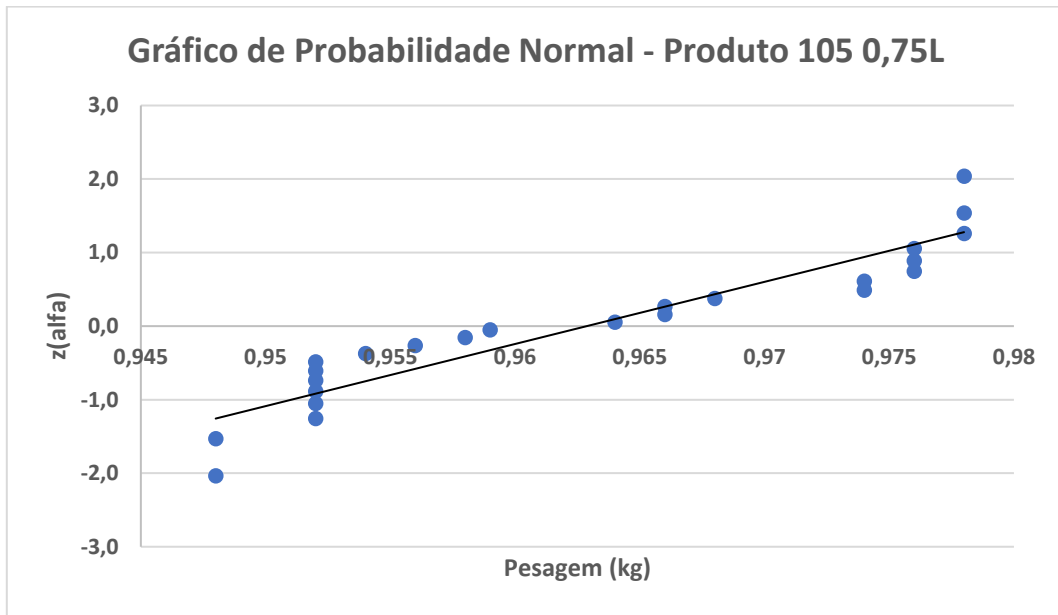


Figura 56 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 105 0,75L.

Produto 106 0,75L

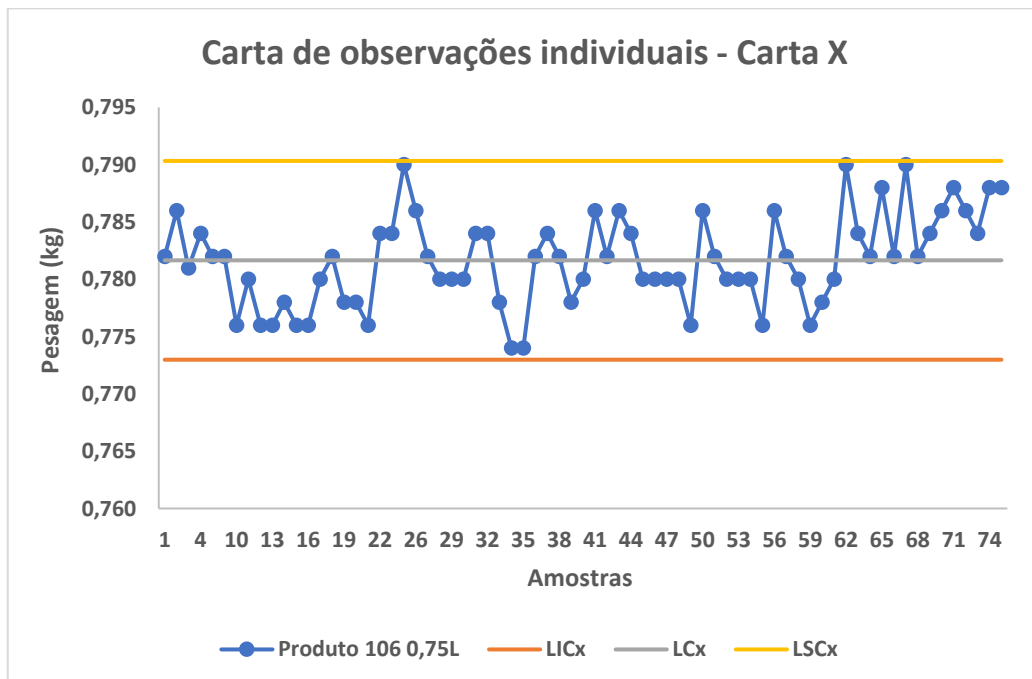


Figura 57 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 106 0,75L.

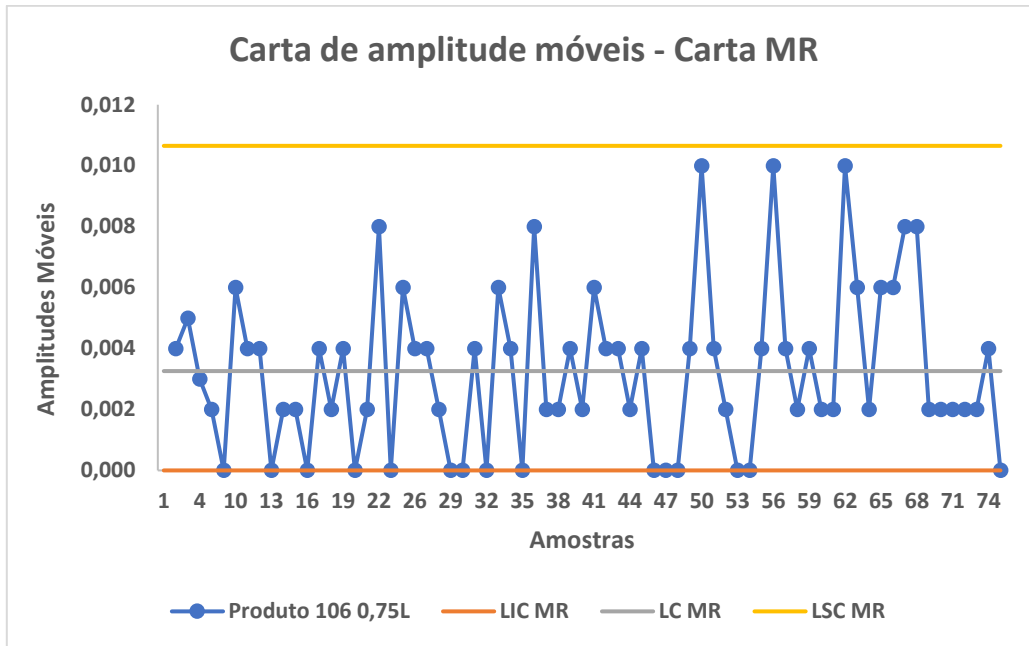


Figura 58 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 106 0,75L.

Verificação da normalidade dos dados

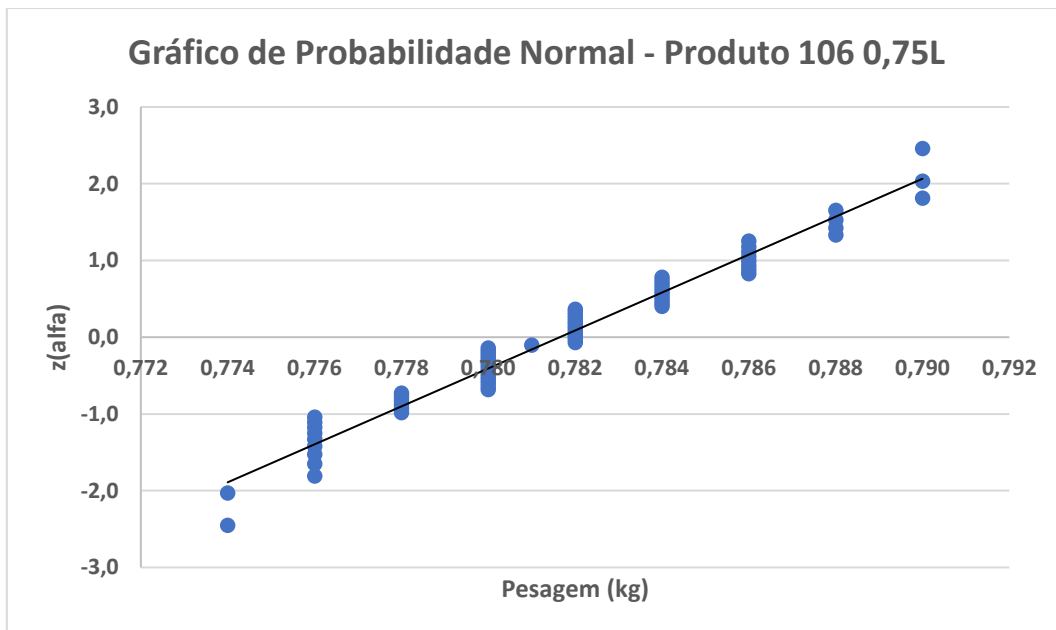


Figura 59 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto106 0,75L.

Produto 107 10L

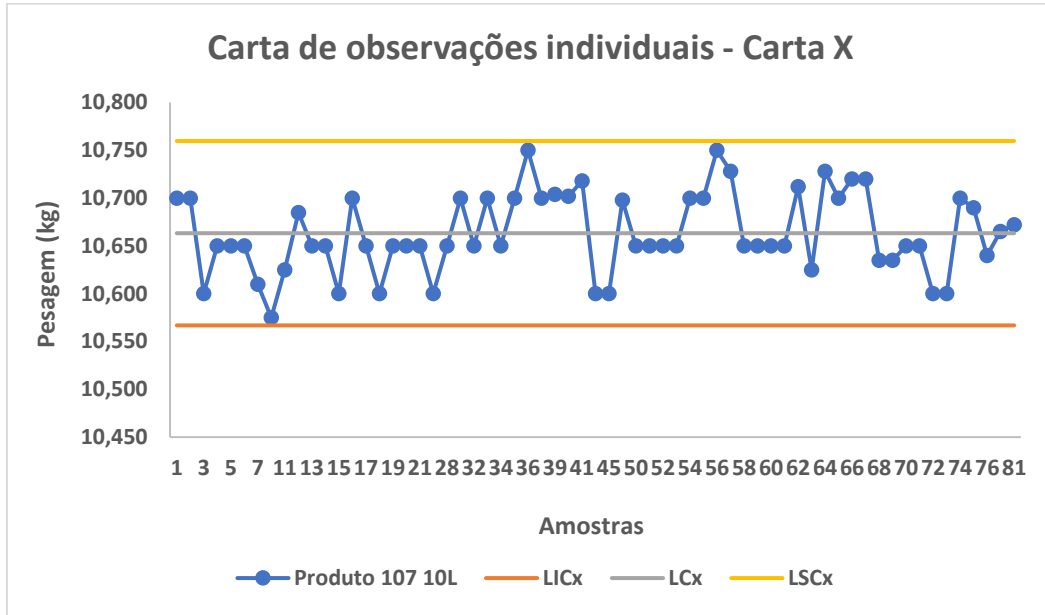


Figura 60 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 107 10L.

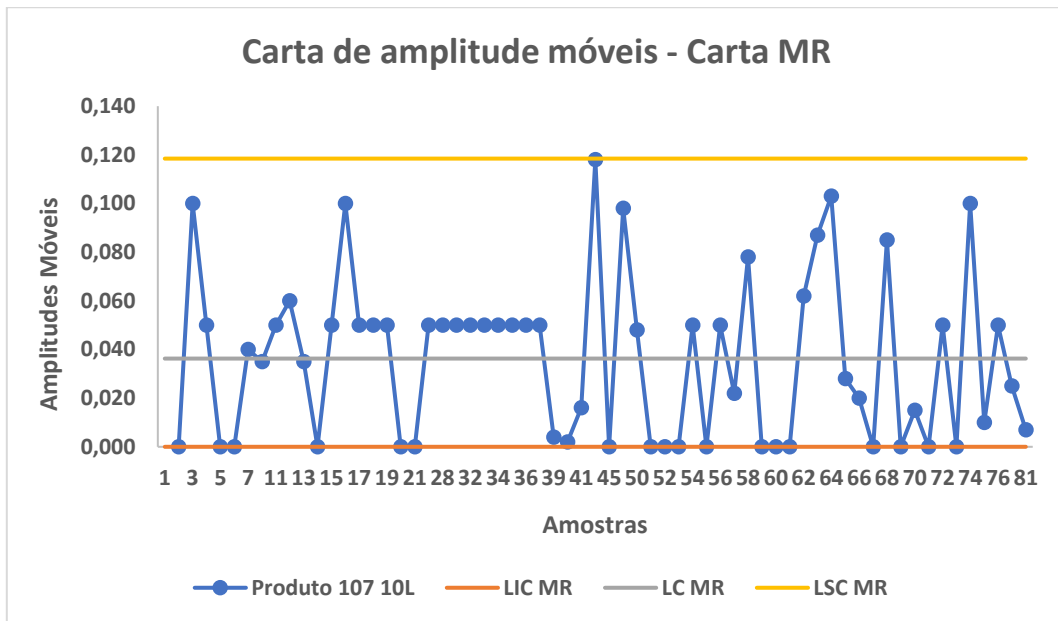


Figura 61 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 107 10L.

Verificação da normalidade dos dados

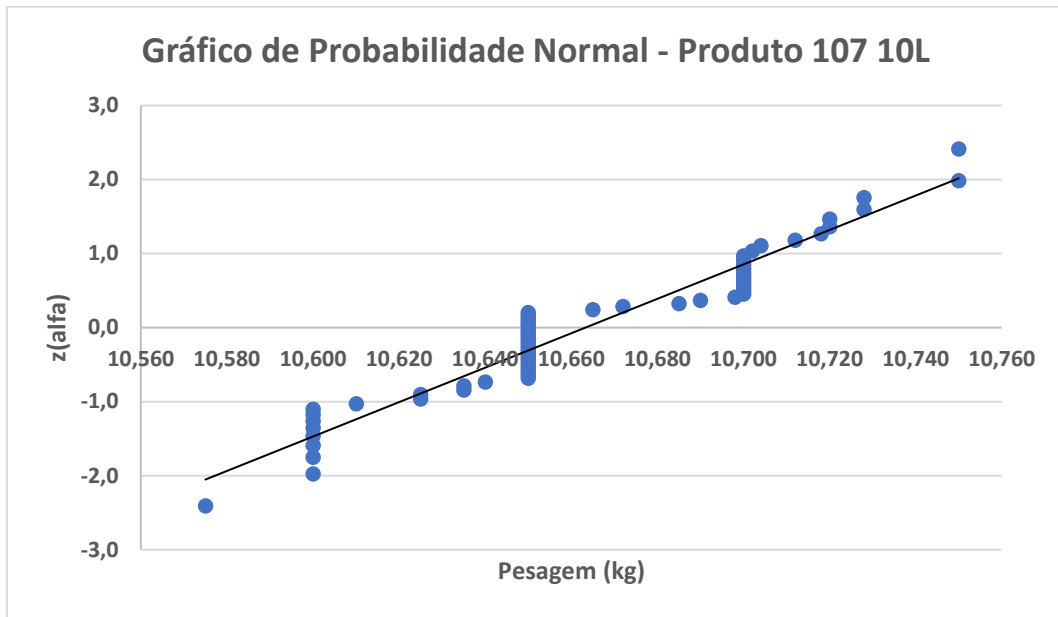


Figura 62 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 107 10L.

Produto 108 5L

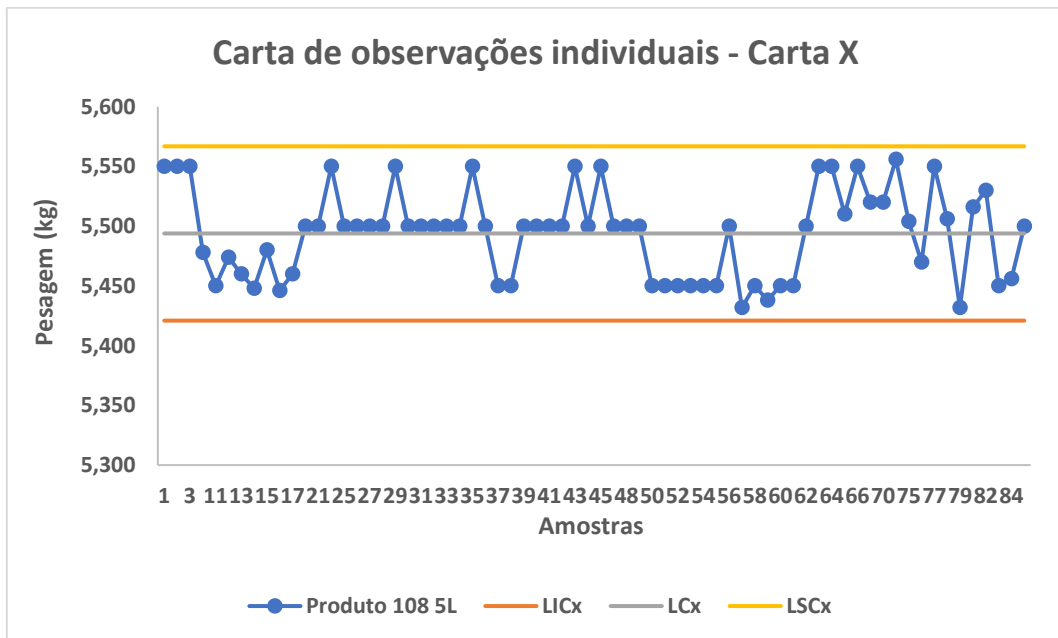


Figura 63 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 108 5L.

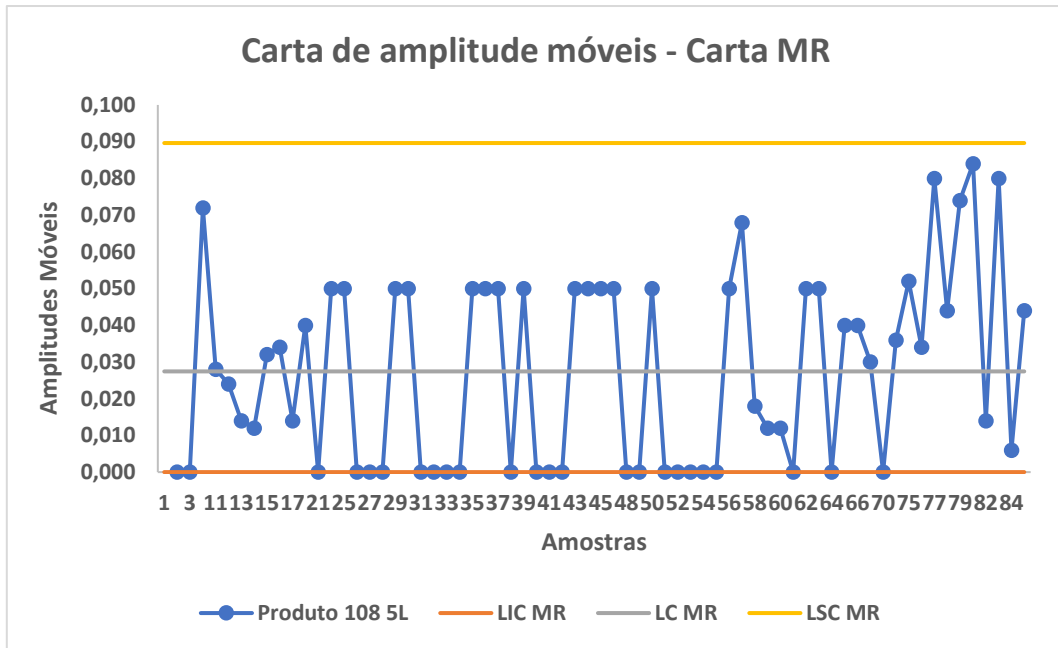


Figura 64 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 108 5L.

Verificação da normalidade dos dados

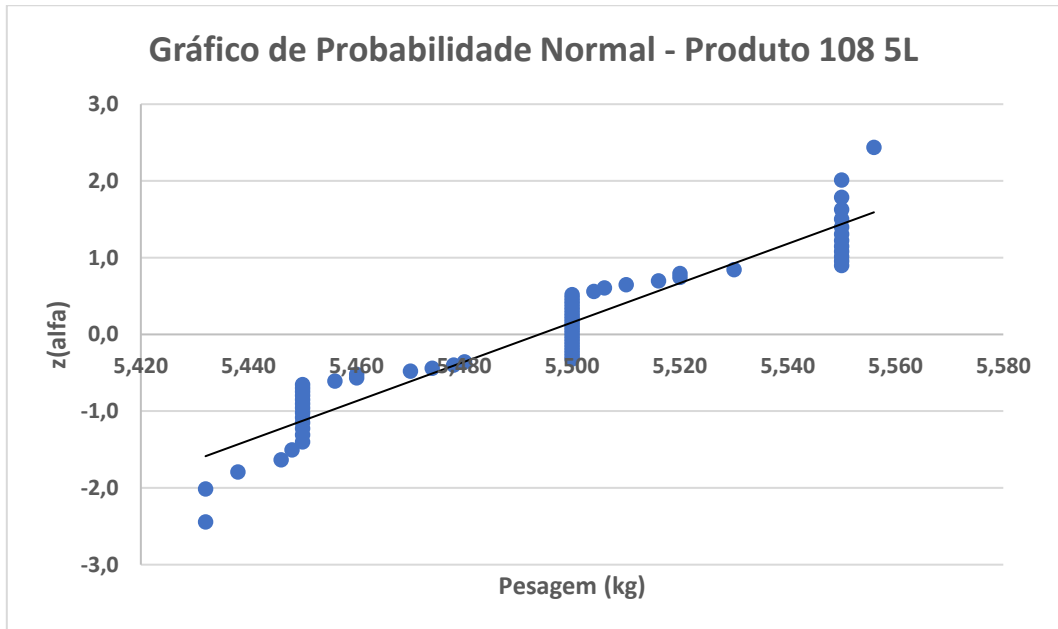


Figura 65 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 108 5L.

Produto 109 5L

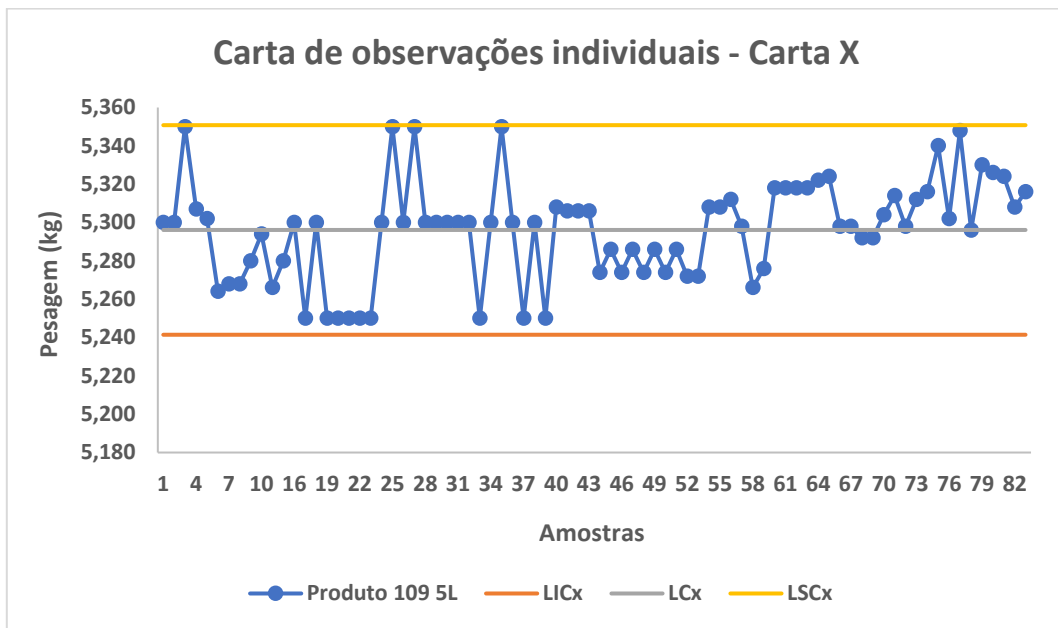


Figura 66 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 109 5L.

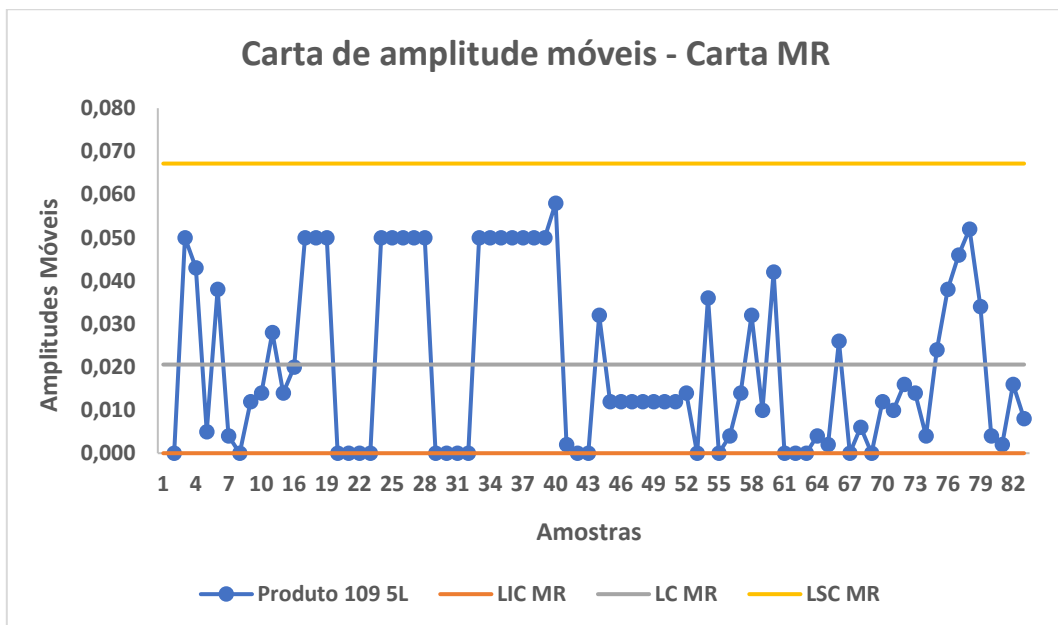


Figura 67 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 109 5L.

Verificação da normalidade dos dados

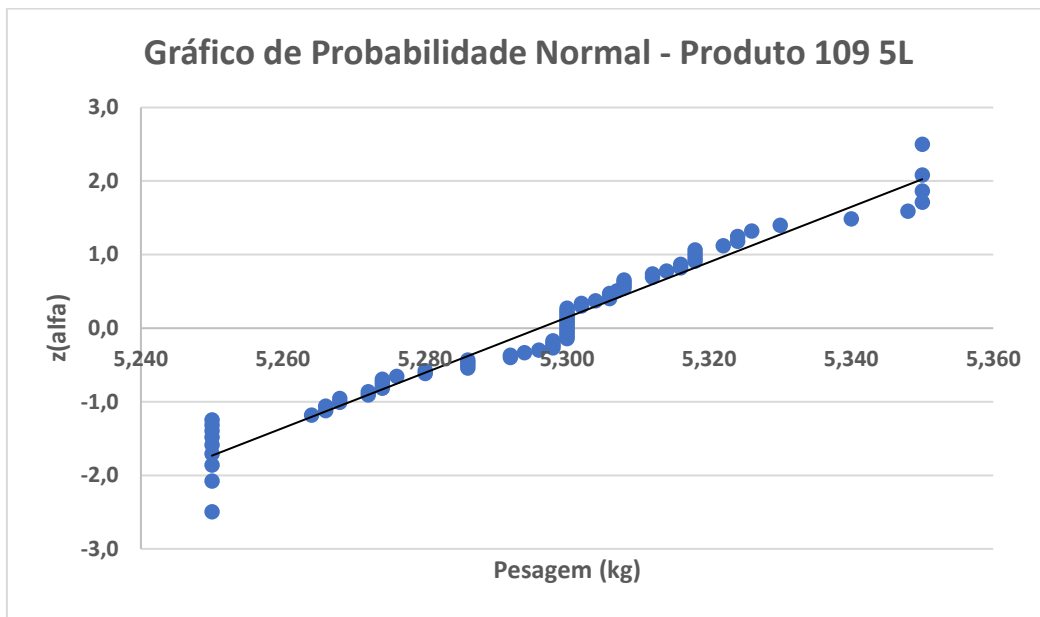


Figura 68 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 109 5L.

Produto 111 5L

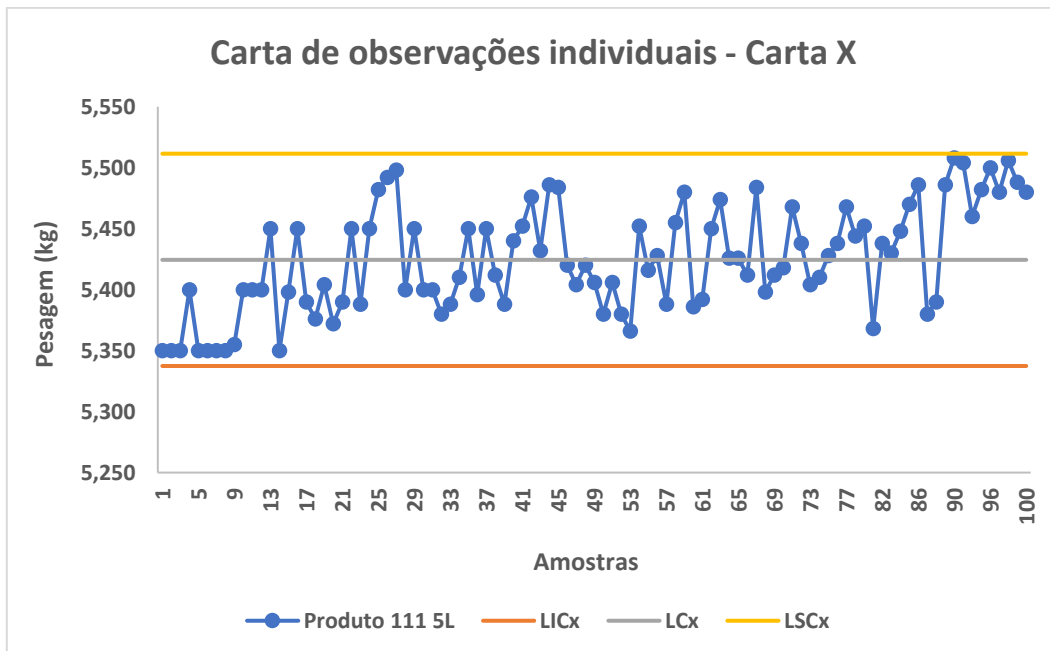


Figura 69 - Carta de observações individuais Fase I - Produto 111 5L.

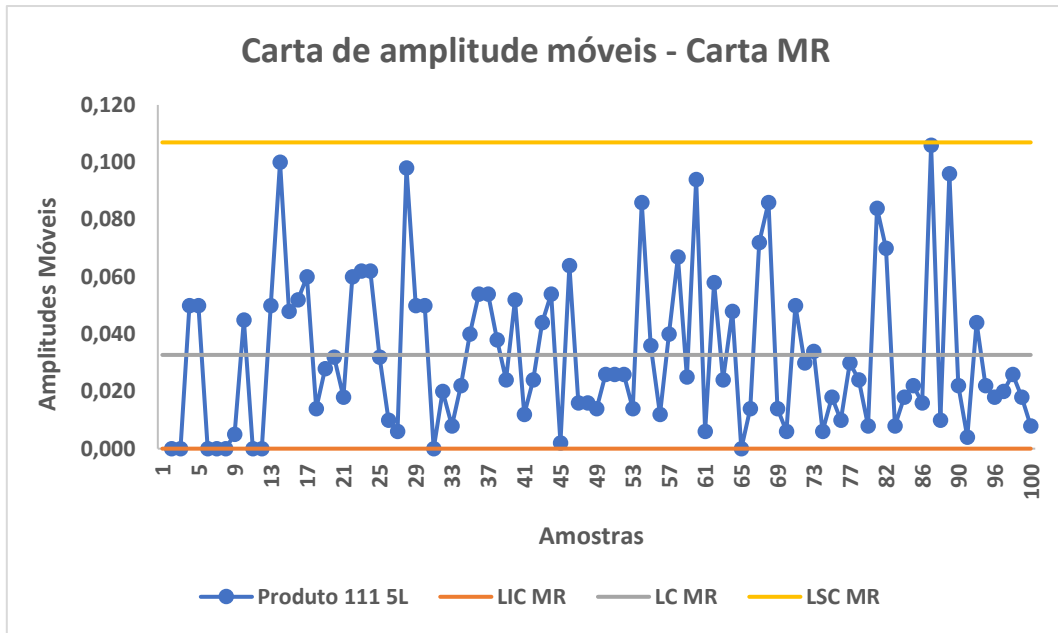


Figura 70 - Carta de amplitudes móveis Fase I - Produto 111 5L.

Verificação da normalidade dos dados

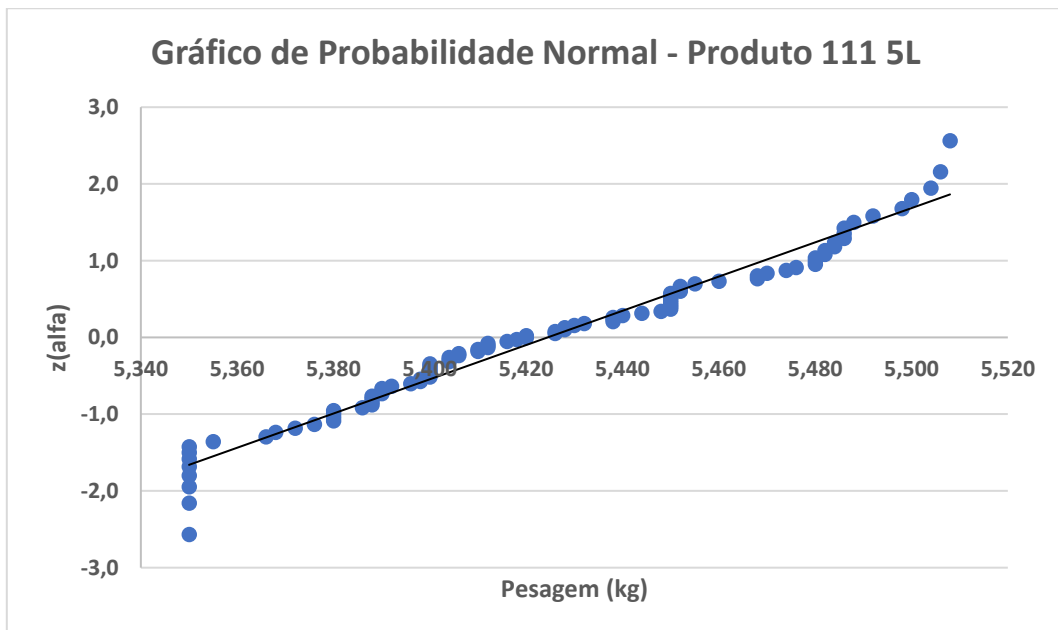


Figura 71 - Gráfico de Probabilidade Normal - Produto 111 5L.

Anexo II - Fatores para construção de Cartas de Controle para Variáveis

Tabela 13 - Fatores para construção de Cartas de Controle para Variáveis.

Observações na amostra, n	Cartas para a média					Cartas para Desvio Padrão						Cartas para Amplitudes				
	Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central			Fatores para Limites de Controle				
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,2884	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,574
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,114
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Anexo III – Descrição dos equipamentos de enchimento

Tabela 14 - Descrição dos equipamentos de enchimento.

Código Interno	Equipamento
FEL 10.00	Máquina de enchimento de líquidos com 6 bicos para 1L
FEL 09.00	Máquina de enchimento de líquidos com 6 bicos para 0,75L
FEL 06.00	Máquina de enchimento de líquidos clorados com 6 bicos para 0,5 / 1L / 5L
FEL 08.00	Máquina de enchimento de líquidos clorados com 1 bicos para 10L / 20L
FEL 11.00	Máquina de enchimento de líquidos com 1 bico para 5L / 10L / 20L
FEL 04.00	Máquina de enchimento de líquidos com 2 bicos para 5L / 10L / 20L
FEL 02.00	Máquina de enchimento de líquidos com 1 bico para 0,1L / 0,5L / 1L

Anexo IV – Equipamentos de pesagem

Tabela 15 - Equipamentos de pesagem.

Código Interno	Equipamento
LMA01	Balança 6kg
FMA36	Balança 1500kg
FMA 42	Balança 15kg
FMA 48	Balança 150kg

Anexo V – Erros admissíveis por defeito

QUADRO N.º 1

Quantidade nominal (grama ou mililitro)	Erros admissíveis por defeito	
	Porcentagem	Em massa ou volume (grama ou mililitro)
Até 50	9,0	-
De 50 a 100	-	4,5
De 100 a 200	4,5	-
De 200 a 300	-	9,0
De 300 a 500	3,0	-
De 500 a 1000	-	15,0
De 1000 a 10 000	1,5	-
De 10 000 a 15 000	-	150,0
Superior a 15 000	1,0	-

Figura 72 - Erros admissíveis por defeito de acordo com as quantidades nominais.

Anexo VI – Teste da homogeneidade das variâncias – Método Empírico

Tabela 16 - Teste da homogeneidade das variâncias.

Produtos	\overline{MR}_k	Resultados	Método empírico $0,75 < \frac{\overline{MR}_k}{\overline{MR}} < 1,25$
Produto 101	0,00300	0,19098	Fora do intervalo
Produto 102	0,00805	0,51247	Fora do intervalo
Produto 103	0,00557	0,35459	Fora do intervalo
Produto 104	0,02566	1,63355	Fora do intervalo
Produto 105	0,00635	0,40425	Fora do intervalo
Produto 106	0,00326	0,20754	Fora do intervalo
Produto 107	0,03626	2,30837	Fora do intervalo
Produto 108	0,02743	1,74641	Fora do intervalo
Produto 109	0,02056	1,30869	Fora do intervalo
Produto 110	0,00392	0,24955	Fora do intervalo
Produto 111	0,03273	2,08359	Fora do intervalo
\overline{MR}	0,01571		

Uma vez que para todos os produtos se verifica que as variâncias se encontram fora do intervalo pode-se concluir que não existe homogeneidade de variâncias.