



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Química

Controlo Estatístico do Processo na Empresa das Águas do Vimeiro

VÂNIA SOFIA BERNARDES GOMES

(Licenciada em Engenharia Alimentar)

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

Orientador (es): Doutora Isabel Maria da Silva João

Júri:

Presidente: Doutor João Miguel Alves da Silva

Vogais:

Doutor José Fernando Gomes Requeijo

Doutora Isabel Maria da Silva João

fevereiro de 2020



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Química

Controlo Estatístico do Processo na Empresa das Águas do Vimeiro

VÂNIA SOFIA BERNARDES GOMES

(Licenciada em Engenharia Alimentar)

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

Orientador (es): Doutora Isabel Maria da Silva João

Júri:

Presidente: Doutor João Miguel Alves da Silva

Vogais:

Doutor José Fernando Gomes Requeijo

Doutora Isabel Maria da Silva João

fevereiro de 2020

“A dúvida é o princípio da sabedoria”

Aristóteles

AGRADECIMENTOS

Se a realização deste trabalho foi possível, deve-se em parte às diversas pessoas que carinhosamente, mostraram disponibilidade e apoio, ou um simples incentivo. Agradeço deste modo, de forma particular: À Doutora Isabel João, orientadora interna, um agradecimento muito especial por todo o apoio e estímulo que me prestou, por toda a energia e motivação que me transmitiu e também por sempre acreditar nas minhas capacidades. Agradeço-lhe, ainda por ter encarnado realmente o papel, que julgo ser aquele que se espera de um orientador, isto é, por ter sido sempre um “porto seguro”.

Ao Dr. Diogo Abreu, Administrador da Empresa das Águas do Vimeiro que me deu a possibilidade para a realização deste trabalho, bem como disponibilizar todos os meios para a concretização do mútuo objetivo. Tendo sido uma honra ter feito parte da equipa das Águas do Vimeiro, S.A.

À Dra. Manuela Azevedo, como mentora na Empresa das Águas do Vimeiro, foi essencial para a organização e orientação do relatório, manifestando sempre disponibilidade para o que fosse necessário;

Ao Ricardo Jorge, Sandra Isidro e Pedro Antunes, que conseguiram despertar-me, esclarecer-me e apoiar-me ao longo de todo este trabalho, manifestando também toda a sua disponibilidade e confiança;

Aos colaboradores da empresa por toda a atenção, simpatia e acolhimento que demonstraram.

Ao Renato Pinto (Responsável pelas captações) por todos os esclarecimentos prestados, amizade e união, que demonstrou ao longo deste percurso.

À Cristina Martinho, pela disponibilidade, interesse e recetibilidade com que me recebeu e pela prestabilidade com que me ajudou.

Ao meu namorado, Miguel, um agradecimento muito especial por todo o apoio e estímulo que me prestou, por toda a energia e motivação que me transmitiu e também por sempre acreditar nas minhas capacidades;

Aos meus pais e amigos, que não participando diretamente no trabalho, deram todo o apoio necessário para que a motivação fosse permanente.

Aos meus amigos de mestrado, Mauro Rosário e Filipa Santos, pelo companheirismo, amizade e motivação que me deram.

A todos estou grata...

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo do processo de engarrafamento e embalagem das águas e análise detalhada do processo com vista à implementação do controlo estatístico do processo. Assim numa primeira fase consistiu na compreensão do controlo da qualidade que é realizado ao longo de todo o processo desde a captação de águas ao controlo do processo de engarrafamento até ao embalagem do produto final. Foi realizado um diagnóstico ao controlo de qualidade efetuado pela empresa e um estudo sobre as ferramentas de controlo estatístico de processos e sua aplicabilidade à empresa Águas do Vimeiro. Com base no diagnóstico efetuado foi possível constatar o elevado número de características da qualidade para as várias fases do processo de produção da empresa águas do Vimeiro e também identificar algumas fragilidades do tipo de controlo de qualidade usado pela organização. Nesse sentido estudaram-se os principais tipos de cartas de controlo a utilizar na organização e selecionaram-se os pontos de controlo onde o presente trabalho incidiu, nomeadamente a linha de enchimento PET e a linha de enchimento Vidro bem como as características da qualidade a medir e controlar.

O presente trabalho consistiu na aplicação de cartas de controlo para os processos de produção de engarrafamento de água gaseificada, lisa e original em linha PET e vidro, nas fases de enchimento e embalagem. Na fase de enchimento utilizaram-se as cartas \bar{X} e R na Fase 1 e Fase 2 do controlo estatístico. Para a etapa do embalagem optou-se pelas cartas \bar{X} e MR , na fase 1, e as cartas Z_X e W_{MR} na Fase 2. Foram feitos estudos de capacidade do processo e foram identificadas as situações onde o processo se encontrava deslocado face ao valor alvo de especificação. Também foi possível estudar a variabilidade em função do intervalo de especificação para as várias características da qualidade em estudo com o objetivo de implementar medidas para melhorar os processos. Este trabalho veio assim dar resposta ao objetivo da organização em implantar um conjunto de procedimentos e técnicas capazes de transmitir máxima confiança de que um determinado nível de qualidade estava a ser alcançado ao mais baixo custo. As técnicas estatísticas de controlo e melhoria da qualidade utilizadas podem auxiliar a empresa a medir, analisar, interpretar e modelar a variabilidade que se observa no desempenho de diversas atividades. A análise estatística dos dados auxilia a organização a obter uma melhor compreensão da natureza e extensão das causas de variabilidade auxiliando assim a solucionar e até a resolver problemas que possam resultar das várias fontes de variação.

Palavras-chave: Qualidade, indústria alimentar, SPC, Cartas de Controlo, Capacidade do Processo, R & R

ABSTRACT

The main goal of this work is the establishment and implementation of statistical process control of the whole process of Vimeiro's water bottles production, from the water collection to the bottling and packing steps. The first phase of this work was focused on comprehending the quality control that was already employed on the production pipeline all the way from the collection to the packing of the final product. A quality control diagnosis was carried by the company and a study on the tools used for statistical process control and respective applicability to Águas do Vimeiro was carried out. Based on the diagnosis, it was possible to assess a high number of quality characteristics for the various phases of the company's production process and also to identify some of the weaknesses in the quality control strategy used by the company. Regarding this last aspect, the main types of control charts to be used in the process' quality control were assessed and selected accordingly and the control points in which the present work focused were selected, namely the PET (Polyethylene terephthalate) and glass filling lines, as the quality characteristics to be measured and to control.

The present work consists in the application of control charts for the production processes of bottled carbonated, smooth and original water in PET and glass bottles, in both the filling and packaging phases. For the filling stage, the \bar{X} and R were used in the phases 1 and 2 of the statistical control. For the packaging stage, the \bar{X} and MR charts were chosen for phase 1, while the Z_X and W_{MR} charts were used for phase 2. Process capacity studies were carried out and some settings used were found to be out of step with the target specification value. It was also possible to study the variability as a function of the specification range for the various quality characteristics under study in order to implement measures to improve the processes. This work thus responded to the organization's objectives for the implementation of a set of procedures and techniques capable of transmitting maximum confidence that a certain quality standard was achieved at the minimum cost. The statistical techniques of quality control and improvement used can guide the company measuring, analysing, interpreting and improving the variability observed in the performance of different activities. Statistical analysis of the data helps the organization to better understand the nature and the extension of the causes of variability, thereby helping to solve problems that may result from several and various sources of variation.

ABREVIATURAS

ARL – *Average Run Length*

EAV – Empresa das Águas do Vimeiro, S.A

CEP – Controlo Estatístico do processo

CQ – Controlo da Qualidade

LC – Limite Central

LIC – Limite Inferior de Controlo

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSC – Limite Superior de Controlo

LSE – Limite Superior de Especificação

ISO - "International Organization for Standardization"

SPC – *Statistical Process Control*

TQM - "*Total Quality Management*"

PET - Poli (Tereftalato de Etileno)

SIMBOLOGIA

A_2, A_3 - Factores para construção das cartas de controlo de variáveis

ARL - "Average Run Length"

$ARL_{Em\ Controlo}$ - ARL quando o processo se encontra sob controlo estatístico

$ARL_{Fora\ de\ Controlo}$ - ARL quando o processo não se encontra sob controlo estatístico

B_3, B_4 - Factores para construção das cartas de controlo de variáveis

C_p - Índice de capacidade potencial do processo

C_{pk} - Índice de capacidade do processo

$(C_{pk})_I$ - Índice de capacidade de processo inferior

$(C_{pk})_S$ - Índice de capacidade de processo superior

D_3, D_4 - Factores para construção das cartas de controlo variáveis

d_2 - Factor para construção das cartas de controlo variáveis

m - Número de amostras

n - Dimensão da amostra

min - Valor mínimo

N - Número de dados

MR - Amplitude móvel

$(MR)_j$ - Amplitude móvel no instante i para o produto j

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

R - Amplitude Amostral

\bar{R} - Média das amplitudes amostrais

X - Característica da qualidade

\bar{X} - Média amostral

$\bar{\bar{X}}$ - Média das médias de amostras

X_{ij} - Observação no instante i do produto j

α - Nível de significância ou erro tipo I

β - A probabilidade de se cometer um erro do tipo II

μ - Média do processo

μ_ω - Média de uma característica da qualidade

$\hat{\mu}$ - Estimador da média do processo

σ - Desvio padrão do processo

σ_ω - Desvio padrão de uma característica da qualidade

$\hat{\sigma}$ - Estimador do desvio padrão do processo

σ^2 - Variância do processo

ω - Estatística de uma carta de controlo

Y_{ijk} = variável aleatória que denota a ijk -ésima medida;

μ = média global;

τ_i = variável aleatória que mede o efeito do i -ésimo produto na medição;

β_j = variável aleatória que mede o efeito do j -ésimo operador no sistema de medição;

$(\tau\beta)_{ij}$ = variável aleatória que mede o efeito da ij -ésima interação entre produto e operador;

ε_{ijk} = componente de erro aleatório.

R & R – Repetibilidade e Reprodutibilidade

Z – Variável normal reduzida

ÍNDICE

Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract	V
Abreviaturas	VI
Simbologia	VII
Índice	IX
Índice de Figuras.....	XII
Índice de Tabelas	XIV
1. Capítulo 1.....	- 1 -
1.1. Introdução.....	- 1 -
1.2. Contextualização do Problema	- 2 -
1.3. Motivação	- 3 -
1.4. Objetivos do trabalho	- 3 -
1.5. Estrutura do Trabalho	- 4 -
2. Capítulo 2.....	- 5 -
2.1. Empresa das Águas do Vimeiro, S.A.....	- 5 -
2.1.1. Missão	- 6 -
2.1.2. Política.....	- 6 -
2.2. Breve história da empresa	- 6 -
2.3. Estrutura Organizacional.....	- 8 -
2.4. Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar	- 9 -
2.5. Descrição do processo de produção de água mineral natural, água mineral natural gaseificada e água de mesa	- 11 -
2.5.1. Captação e tratamento	- 11 -
2.5.2. Enchimento	- 12 -
2.5.3. Rotulagem e Embalamento.....	- 14 -
2.5.4. Paletização e Armazenamento.....	- 14 -
3. Capítulo 3.....	- 16 -
3.1. Controlo e Melhoria da Qualidade	- 16 -
3.2. Evolução Histórica da Qualidade	- 18 -
3.3. Definições da qualidade.....	- 20 -
3.4. controlo estatístico do processo.....	- 21 -
3.4.1. Causas de Variação da Qualidade	- 24 -
3.5. cartas de controlo	- 27 -

3.5.1.	Modelo geral de uma carta de controlo	- 28 -
3.5.2.	Escolha dos limites de controlo.....	- 30 -
3.5.3.	Aplicação das cartas – Fase 1 e Fase 2	- 31 -
3.5.4.	Dimensão das amostras e Frequência de Amostragem	- 32 -
3.5.5.	Regras para deteção de causas assinaláveis	- 33 -
3.6.	Tipos de Cartas de Controlo Univariado	- 35 -
3.6.1.	Carta de Controlo de variáveis Fase 1 e Fase 2	- 37 -
3.7.	Pressupostos para a construção das cartas de controlo.....	- 41 -
3.7.1.	Independência das observações	- 41 -
3.7.2.	Normalidade das observações	- 42 -
3.7.3.	Aleatoriedade das observações	- 42 -
3.8.	Capacidade do processo	- 43 -
3.8.1.	Índices de Capacidade do Processo Cp	- 44 -
3.9.	Repetibilidade e Reprodutibilidade	- 46 -
3.10.	Controlo Estatístico do Processo para “Pequenas Produções” – <i>Short Run</i>	- 49 -
3.10.1.	Tipos de Cartas de controlo e condições de aplicação.....	- 50 -
3.10.2.	Carta de Controlo ZX e WMR	- 51 -
4.	Capítulo 4.....	- 55 -
4.1.	Caso de estudo.....	- 55 -
4.2.	Caraterísticas da qualidade em estudo.....	- 59 -
4.3.	Recolha de dados	- 63 -
4.4.	Estudo R&R para a altura das garrafas na linha de enchimento PET.....	- 64 -
4.4.1.	Estudo R&R para garrafas 1,5L PET transparentes.....	- 65 -
4.4.2.	Estudo R&R para garrafas 0,50L PET verdes	- 66 -
4.5.	Procedimento para a implementação do controlo estatístico do processo	- 68 -
4.6.	Construção das cartas de controlo	- 69 -
4.6.1.	Carta de controlo CO ₂ em Linha PET	- 69 -
4.6.2.	Carta de controlo CO ₂ em Linha Vidro.....	73
4.6.3.	Carta de controlo Volume de Água na garrafa 1,50L Verde PET.....	77
4.6.4.	Controlo da Qualidade filme retráctil - Linha PET	81
5.	Capítulo 5.....	87
5.1.	Conclusões	87
5.2.	Perspetivas futuras	90
	Bibliografia.....	91
	Anexos	95
I.	Fatores para construção das cartas de controlo por variável	96
II.	Metodologia de Recolha de amostras e de ensaios – Produto acabado PET e vidro.....	97

III. Equipamentos	98
232.50	99
IV. R&R – 1,5L garrafas transparentes PET	100
V. R&R – 0,50L garrafas Verde PET	101
VI. Cartas de controlo X e R CO ₂ Vidro Laboratório – Fase 1 e Fase 2	102
VII. Cartas de controlo X e R CO ₂ PET Laboratório – Fase 1 e Fase 2.....	104
VIII. Cartas de controlo X e R Volume Água - Fase 1	106
IX. Cartas de controlo X e R Volume Água - Fase 2	108
X. Cartas de controlo X e MR Gramagem Retrátil PET - Fase 1	110
XI. Verificação da normalidade - Gramagem Retrátil PET	115
XII. Teste Bartlett	117
XIII. Solubilidade do CO ₂ em Água	118
XIV. Procedimento determinação CO ₂ Laboratório:.....	122
XV. Procedimento determinação CO ₂ Linha:.....	122
XVI. Poster congresso Galego Português de Química	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da empresa das Águas do Vimeiro s.a.....	5 -
Figura 2.2 – Logótipo da empresa das águas do vimeiro, s.a.....	7 -
Figura 2.3 – Organograma da eav	8 -
Figura 2.4 – Captação e tratamento	12 -
Figura 2.5 - Enchimento.....	13 -
Figura 2.6 – Rotulagem e embalamento	14 -
Figura 2.7 – Paletização e Armazenamento	15 -
Figura 3.1 - Função Perda de Taguchi.....	17 -
Figura 3.2 – Sete ferramentas da qualidade (Fonte: (“AS #7 FERRAMENTAS DA #QUALIDADE LinkedIn,” n.d.))	23 -
Figura 3.3 - Entradas e saídas de um processo de produção (Adaptado de Montgomery, 2005)	24 -
Figura 3.4 - Causas especiais de variação e causas aleatórias de variação (Adaptado de Montgomery 2005)	25 -
Figura 3.5 – Esquema geral de uma carta de controlo	29 -
Figura 3.6 – representação dos limites σ , 2σ e 3σ	31 -
Figura 3.7 - Padrões representativos de cada regra (adaptado de Nelson, 2018)	34 -
Figura 3.8 – Fluxograma para seleção do tipo de carta de controlo a utilizar	36 -
Figura 4.1 - Diagrama de causa-efeito CO ₂	58 -
Figura 4.2 – Carta de controlo X-barra fase 1 – CO ₂ Linha PET	70 -
Figura 4.3 – Carta de controlo R Fase 1 - CO ₂ Linha PET	70 -
Figura 4.4 - Carta de controlo X-barra Fase 2- CO ₂ Linha PET.....	72
Figura 4.5 - Carta de controlo R Fase 2- CO ₂ Linha PET.....	72
Figura 4.7 - Carta de controlo X-barra Fase 1 - Co ₂ dissolvido Vidro.....	73
Figura 4.6 - Carta de controlo R Fase 1 - CO ₂ dissolvido Vidro	73
Figura 4.8 - Carta de controlo X-barra Fase 2 - Co ₂ dissolvido Vidro	75
Figura 4.9 - Carta de controlo R Fase 2 - CO ₂ dissolvido Vidro	76
Figura 4.10 - Carta de controlo X-barra fase 1 – Volume água 1,5L verde.....	77
Figura 4.11 - Carta de controlo R fase 1 – Volume água 1,5L verde	77
Figura 4.12 - Carta de controlo X-barra fase 2 – Volume água 1,5L verde.....	80
Figura 4.13 - Carta de controlo R fase 2 – Volume água 1,5L verde	80
Figura 4.14 – Carta de controlo X Fase 1 – Massa retrátil 1,50L Gás – Pack 4 PET.....	81
Figura 4.15 – Carta de controlo MR Fase 1 – Massa Retrátil 1,50L Gás – Pack 4 PET	82
Figura 4.16 – Verificação da Normalidade das observações	83
Figura 4.17 – Carta de controlo ZX Linha de produção PET	86
Figura 4.18 – Carta de controlo WMR Linha de produção pET	86
Figura 7.1 – Fatores para construção das cartas de controlo (Adaptado: Montgomery)	96
Figura 7.2 – R&R 1,5L garrafas transparentes PET - Minitab.....	100
Figura 7.3 - R&R 0,5L garrafas Verdes PET - Minitab.....	101
Figura 7.4 - Carta de controlo X-Barra CO ₂ Vidro – Laboratório Fase 1.....	102
Figura 7.5 – Carta de controlo R CO ₂ Vidro – Laboratório FASE 1.....	102
Figura 7.6 - Carta de controlo X-Barra CO ₂ Vidro – Laboratório Fase 2.....	103
Figura 7.7 - Carta de controlo R CO ₂ Vidro – Laboratório Fase 2.....	103
Figura 7.8 - Carta de controlo X-Barra CO ₂ PET– Laboratório Fase 1	104
Figura 7.9 - Carta de controlo R CO ₂ PET– Laboratório Fase 1.....	104

Figura 7.10 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA CO2 PET– LABORATÓRIO FASE 2	105
Figura 7.11 - CARTA DE CONTROLO R CO2 PET– LABORATÓRIO FASE 2	105
Figura 7.12 - Carta de controlo X-BARRA 0,50L verde PET– Fase 1	106
Figura 7.13 - Carta de controlo R 0,50L verde PET– Fase 1	106
Figura 7.14 - Carta de controlo X-BARRA 0,25L verde PET– Fase 1	107
Figura 7.15 - Carta de controlo R 0,25L verde PET– Fase 1	107
Figura 7.16 - Carta de controlo X-BARRA 0,50L verde PET– Fase 2	108
Figura 7.17 - Carta de controlo R 0,50L verde PET– Fase 2	108
Figura 7.18 - Carta de controlo X-BARRA 0,25L verde PET– Fase 2	109
Figura 7.19 - Carta de controlo R 0,25L verde PET– Fase 2	109
Figura 7.20 - Carta de controlo X 0,50L Gás/verde Pack 6– Fase 1	110
Figura 7.21 - Carta de controlo MR 0,50L Gás/verde Pack 6– Fase 1	110
Figura 7.22 - Carta de controlo X 0,25L Gás/verde Pack 6– Fase 1	111
Figura 7.23 - Carta de controlo MR 0,25L Gás/verde Pack 6– Fase 1	111
Figura 7.24 - Carta de controlo X 0,33L Transparente Pack 24– Fase 1	112
Figura 7.25 - Carta de controlo MR 0,33L Transparente Pack 24– Fase 1	112
Figura 7.26 - Carta de controlo X 0,50L Transparente Pack 12– Fase 1	113
Figura 7.27 - Carta de controlo MR 0,50L Transparente Pack 12– Fase 1	113
Figura 7.28 - Carta de controlo X 1,50L Transparente Pack 6– Fase 1	114
Figura 7.29 - Carta de controlo MR 1,50L Transparente Pack 6– Fase 1	114
Figura 7.30 - Verificação da Normalidade das observações 0,50L gás/ Verde Pack 6 - Minitab	115
Figura 7.31 - Verificação da Normalidade das observações 0,25L Gás/ verde Pack 6 - Minitab	115
Figura 7.32 - Verificação da Normalidade das observações 0,33L Transparente Pack 24 - Minitab	116
Figura 7.33 - Verificação da Normalidade das observações 0,50L Transparente Pack 12 – Minitab	116
Figura 7.34 - Verificação da Normalidade das observações 1,50L Transparente Pack 6 – Minitab	117
Figura 7.35 - Lei de Raoult e Lei de Henry (adaptado de Atkins & de Paula, 2014)	118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Regras para detecção de padrões não aleatórios	34 -
Tabela 3.2 - Tipos de cartas de controlo por variáveis	35 -
Tabela 3.3 - Limites Controlo de Shewart na Fase 2 do controlo estatístico para cartas com parâmetros conhecidos.....	41 -
Tabela 3.4 - Interpretação dos resultados de Cp e Cpk (Montgomery, 2005)	46 -
Tabela 3.5 –ANOVA SISTEMA de medição	49 -
Tabela 3.6 – cartas Short-run	51 -
Tabela 4.1 – Parâmetros e Controlo efetuado pela EAV antes do estudo	55 -
Tabela 4.2 – Produtos em estudo e respetivas caraterísticas da qualidade na etapa do enchimento ..	61 -
Tabela 4.3 - PRODUTOS EM ESTUDO E RESPATIVAS CARATERÍSTICAS DA QUALIDADE NA ETAPA DO Embalamento	63 -
Tabela 4.4 - Dados do estudo	64 -
Tabela 4.5 - TABELA ANOVA com dois fatores de interação com $\alpha = 0,05$	65 -
Tabela 4.6 - R&R da medição.....	65 -
Tabela 4.7 - TABELA ANOVA com dois fatores de interação com $\alpha = 0,05$	66 -
Tabela 4.8 - R&R da medição.....	67 -
Tabela 4.9 - Resumo da estimação dos parâmetros do processo	79
Tabela 4.10 - Resumo da estimação dos parâmetros do processo	85
Tabela 0.1 – listagem dos equipamentos utilizados para as medições	98
Tabela 0.2 – Estimação dos parâmetros do processo	103
Tabela 0.3 – Análise estatística – Prism GraphPad V5.....	117



CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

Controlar e melhorar a qualidade tornou-se uma importante estratégia de negócios para muitas organizações desde: fabricantes, distribuidores, organizações de serviços financeiros, prestadores de cuidados de saúde, entre muitos outros. O controlo rigoroso dos processos produtivos e dos produtos é uma das condições indispensáveis para que qualquer organização possa competir com a sua concorrência. O aumento das exigências dos clientes por alimentos seguros levou à indústria alimentar a aumentar a segurança alimentar e o controlo da qualidade dos processos (Abdul Halim Lim, Antony, Garza-Reyes, & Arshed, 2015).

O principal objetivo da qualidade na indústria alimentar é o cumprimento dos requisitos legais, requisitos de qualidade e segurança alimentar e os requisitos dos clientes e consumidores. O controlo da qualidade na indústria alimentar é prever e controlar a qualidade dos alimentos e do processo que o permite obter, de forma a atingir as características desejadas, de acordo com as especificações e atributos definidos. As especificações devem estar acordadas entre os fornecedores, clientes e distribuidores, bem como os pontos de controlo.

A qualidade representa para as empresas uma vantagem competitiva, uma vez que um negócio que aposte no controlo e melhoria da qualidade dos seus produtos e processos contribuindo para satisfazer as expectativas dos seus clientes pode desta forma alcançar supremacia face à concorrência (Montgomery, 2005). Este trabalho assenta no estudo de métodos e técnicas de controlo e melhoria da qualidade aplicados numa organização do sector alimentar.

Neste capítulo é efetuada uma contextualização do problema com o objetivo de efetuar um enquadramento do trabalho realizado de modo a facilitar a compreensão do tema. Apresenta-se também a motivação para a realização deste trabalho assim como os principais objetivos a alcançar com a realização do mesmo. No final deste capítulo apresenta-se a estrutura do trabalho com a indicação dos restantes capítulos que o compõem.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho centra-se numa empresa de produção de água mineral natural e água de consumo humano engarrafada e com o estudo a realizar pretende-se aplicar ferramentas da qualidade no controlo estatístico e melhoria do processo de engarrafamento de águas. As ferramentas a utilizar constituem uma abordagem de suporte à redução da variabilidade e à monitorização do desempenho do processo de engarrafamento das águas minerais e águas de consumo humano com o objetivo de proporcionar a estabilidade do processo e melhorar a sua capacidade através da redução da sua variabilidade. Entende-se por água mineral natural “a água considerada bacteriologicamente própria, com características físico-químicas estáveis, de que podem resultar efeitos favoráveis à saúde, e que se distingue da água de beber comum pela pureza original e pela sua natureza, caracterizada pelo teor de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes”, de acordo com o Decreto-lei nº 86/90, de 16 de março, e entende-se por água de consumo humano (ou água de mesa) “toda a água no seu estado original, ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, à preparação de alimentos, à higiene pessoal ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, de um camião ou navio- -cisterna, em garrafas ou outros recipientes, com ou sem fins comerciais”, de acordo com o Decreto-lei nº 306/2007, de 27 de agosto.

Com a economia mundial tendendo a ser mais global, as indústrias enfrentam uma grande concorrência exigindo-se uma produção de produtos com elevada qualidade, a custos baixos, com prazos de entrega cada vez mais curtos, com uma resposta mais rápida do mercado, e com uma melhor qualidade no serviço prestado. O trabalho vai-se desenvolver na Empresa das Águas do Vimeiro S.A. (EAV) que é uma empresa que aposta fortemente na qualidade uma permanente orientação para o cliente, através da oferta de produtos com total garantia de qualidade do ponto de vista alimentar e, perfeitamente adaptado às necessidades dos seus consumidores.

As indústrias alimentares estão cada vez mais envolvidas na implementação do Controlo Estatístico do processo (CEP) cujo acrónimo em inglês é SPC (*Statistical Process Control*) com o intuito de melhorar a qualidade dos seus processos produtivos e dos produtos alimentares que comercializam e satisfazer as expectativas dos seus clientes. Esta é uma realidade que está a prevalecer quer nos EUA quer na Europa (Abdul Halim Lim et al., 2015).

A empresa pretende ser reconhecida como a mais tradicional marca de águas em Portugal, que se sabe reinventar e criar produtos que atendam às mais atuais tendências de consumo. Neste sentido pretende associar a saúde, o bem-estar, a leveza e a diversão no consumo de água engarrafada.

A empresa pretende implantar um conjunto de procedimentos e técnicas capazes de transmitir máxima confiança de que um determinado nível de qualidade está a ser alcançado ao mais baixo custo.

As técnicas estatísticas de controlo e melhoria da qualidade podem auxiliar a empresa a medir, analisar, interpretar e modelar a variabilidade que se observa no desempenho de diversas atividades. A análise estatística dos dados pode auxiliar a obter uma melhor compreensão da natureza e extensão das causas

de variabilidade auxiliando assim a solucionar e até a resolver problemas que possam resultar de uma excessiva variabilidade promovendo desta forma a melhoria contínua.

A medição e consequente análise dos dados são cruciais, aumentando a eficácia das tomadas de decisão, possibilitando a definição de um conjunto de ações e medidas que eliminem as causas especiais de variação e também desenvolver ações no sentido de poder reduzir a variação comum de forma a poder aumentar a capacidade dos processos.

O controlo estatístico a implementar na EAV tem assim como principal finalidade o desenvolvimento e aplicação de métodos estatísticos como parte da estratégia da empresa para prevenção de não conformidades, melhoria da qualidade dos produtos e dos serviços prestados e consequente redução de custos.

1.3. MOTIVAÇÃO

Com base no referido anteriormente, em conjunto com a EAV, foi levantada a hipótese da utilização de Ferramentas da Qualidade no Controlo e Melhoria do Processo de Engarrafamento de Águas Minerais Naturais e Águas de consumo humano. Uma das principais motivações para a realização do presente trabalho prende-se com o contributo que este pode ter na compreensão do processo de engarrafamento das águas e na compreensão do controlo da qualidade (CQ) que é realizado no processo desde a captação de águas até ao produto final, partindo do diagnóstico até à proposta e implementação de técnicas e ferramentas que possam proporcionar a estabilidade do processo produtivo e melhorar a sua capacidade através da redução da sua variabilidade num processo de melhoria contínua.

1.4. OBJETIVOS DO TRABALHO

Os principais objetivos que se pretendem atingir com este trabalho são:

- Caracterização da empresa EAV estrutura organizacional da empresa, principais áreas de negócio e portfólio de águas minerais;
- Estudo do processo de engarrafamento das águas minerais e análise detalhada do processo de engarrafamento da empresa EAV;
- Compreensão do Controlo da Qualidade (CQ) que é realizado ao longo de todo o processo desde a captação de águas ao controlo em curso e produto final. Análise do histórico e diagnóstico;
- Análise / Estudo de Ferramentas de controlo estatístico de processos (SPC) e sua aplicabilidade à organização;
- Aplicar/ Implementar cartas de controlo;

- Seleção das cartas de controlo mais adequadas para a organização e exemplos práticos da sua aplicação na empresa EAV;
- Utilização de cartas de controlo com vista à obtenção da estabilidade do processo e estudos de capacidade.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado num conjunto de 5 capítulos. O primeiro capítulo constitui a introdução onde se efetua uma contextualização do trabalho e se explica a motivação para a realização do mesmo. Os objetivos a alcançar com este trabalho são definidos bem como a estrutura do mesmo.

A parte remanescente do trabalho é composta pelos capítulos 2 a 5.

No capítulo 2 será realizada uma apresentação e caracterização da EAV, empresa onde se desenvolveu o trabalho. Também irá ser apresentado o processo de produção dos vários tipos de água engarrafada produzidos na empresa e o Sistema de Gestão da Qualidade.

No capítulo 3, Controlo e Melhoria da Qualidade, são abordados todos os conceitos teóricos e métodos utilizados na realização da parte prática do trabalho final de mestrado. Inicialmente é feita uma breve abordagem à definição da Qualidade, e à evolução da Qualidade ao longo dos anos. Primeiramente são abordados conceitos relacionados exclusivamente com o Controlo Estatístico de Processo (SPC), onde são enunciados os pressupostos necessários à construção as Cartas de Controlo Tradicionais (de Shewhart), por fim procede-se à apresentação dos conceitos relativos ao Controlo Estatístico de Pequenas Produções. No capítulo 4, Caso de Estudo, são abordadas as metodologias utilizadas, aplicadas as técnicas enunciadas no capítulo 3 e analisados e discutidos os resultados obtidos com este estudo.

No capítulo 5, Conclusões, são apresentadas as conclusões do estudo efetuado na empresa, recomendações destinadas à empresa para que esta possa melhorar os seus processos produtivos.

Parte do trabalho desenvolvido neste trabalho final de mestrado já foi alvo de uma comunicação em painel no XXV Encontro Galego Português de Química que se realizou em Santiago de Compostela, Espanha de 20 a 22 de novembro de 2019. O trabalho intitulado “Controlo da Qualidade do Teor de CO₂ em água mineral engarrafada” apresentado em painel no encontro internacional encontra-se no anexo XVI. No anexo XVI encontra-se a comunicação em painel do XXIII Encontro Galego Português de Química.

CAPÍTULO 2

2.1. EMPRESA DAS ÁGUAS DO VIMEIRO, S.A.

A EAV, localiza-se no concelho de Torres Vedras (Figura 2.1) e dedica-se ao engarrafamento de água mineral natural, água mineral natural gaseificada, água mineral natural extra gaseificada e água para consumo humano.

A unidade Industrial das Águas do Vimeiro é constituída pela linha de engarrafamento de garrafas em Vidro e garrafas em Poli (Tereftalato de Etileno)(PET), permitindo o engarrafamento de 40 milhões de litros por ano. Nestas linhas o engarrafamento é feito em vários formatos (0,25L, 0,33L, 0,50L, 1,5L, 0,75L e 0,125L). Desde a captação até ao engarrafamento, a água é sujeita a um controlo rigoroso de qualidade, que é traduzida na confiança depositada pelo mercado e que se traduz nos resultados obtidos: Líderes no segmento das Águas com Gás em PET

Segundo a Direção-Geral de Energia e Geologia a água mineral da EAV é classificada como bicarbonatada sódica e, de acordo com o Instituto de Hidrologia de Lisboa a água do Vimeiro apresenta uma natureza mesosalina, com reação neutra (pH de 7) e dura (valores de carbonato de cálcio 150-300 (mg/L de CaCO_3). Apresenta quatro locais de captação licenciado: EAV 9, EAV 11, Vimeiro 5 e Fonte dos Frades 7. A Fonte dos Frades 7 é utilizada para o termalismo e as restantes captações, para o engarrafamento.

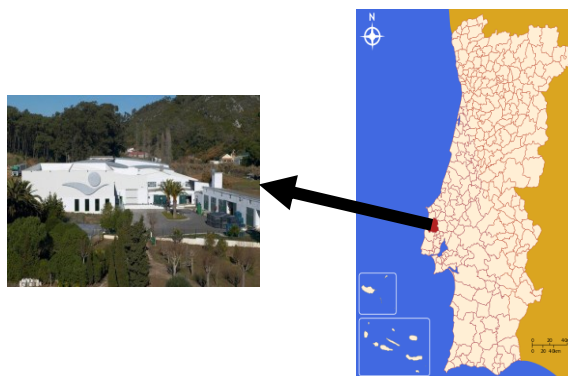


FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA DAS ÁGUAS DO VIMEIRO S.A.

2.1.1. MISSÃO

A EAV tem como Missão ser um operador de referência no mercado de águas engarrafadas, valorizando a qualidade distintiva do seu produto e serviço, assente na sua sustentabilidade ambiental, económica e social.

2.1.2. POLÍTICA

A EAV está integralmente comprometida com a garantia de um produto e serviço de qualidade, com especial relevância para a satisfação e superação dos requisitos, nomeadamente, de proteção do recurso hídrico, de clientes, de garantia da segurança alimentar, bem como legais e normativos.

A EAV encara os Sistemas da Qualidade, da Segurança Alimentar, do Ambiente e da Segurança e Saúde no Trabalho como vetores estratégicos do desenvolvimento da organização, no âmbito duma inovação e adequação permanentes dos processos, das infraestruturas, dos recursos técnicos, industriais, de distribuição e comercialização, às necessidades do mercado e de cada um dos seus clientes em particular. A EAV tem como prática e preocupação constantes a garantia de condições de segurança e saúde dos seus colaboradores, bem como a proteção e conservação das instalações e equipamentos, a prevenção de qualquer fonte de poluição proveniente das suas atividades e a promoção de práticas ambientais sustentáveis e enquadradas em Sistemas de Economia Circular.

A EAV compromete-se com o envolvimento, a qualificação e a motivação dos seus recursos humanos e com o estabelecimento de relações de parceria com os seus fornecedores, tendo como referência os princípios de ética e responsabilidade social, numa filosofia de melhoria contínua, sustentabilidade e responsabilidade social e ambiental

2.2. BREVE HISTÓRIA DA EMPRESA

A História da EAV (Figura 2.2), remonta ao século XIX intrinsecamente ligada à utilização da água para fins terapêuticos cuja preocupação pelo culto da água está bem patente no atual logotipo (Figura 2.2).

Alguns registos de descrições feitas em 1845 fazem notar, com alguma precariedade, a existência de dois banhos junto ao Rio Alcabrichel, na localidade de Maceira. A Norte existia um banho pertencente a um particular e a Sul um conjunto de banhos pertencentes ao Convento de Penafirme. A primeira análise destas águas foi realizada em 1867 por Agostinho Vicente Lourenço e, mais tarde, por Charles Lepierre, esta última constituindo a primeira análise oficial daquelas águas.

Em 1895 as águas foram vistoriadas, tendo em vista a sua concessão. O alvará de licença foi emitido em 30 de Janeiro de 1896, por tempo ilimitado, após interesse manifestado pelo seu proprietário, José Pedro Cardoso, passando-se desta forma, à legal exploração das águas.

Em 1920, os herdeiros do primeiro concessionário solicitaram uma licença de transmissão em nome da Empresa das Águas do Vimeiro, Lda.

Apesar da existência de um concessionário, as instalações não ofereciam condições ao desenvolvimento da atividade termal e, em 1933, as termas foram colocadas à venda em hasta pública, encontrando-se a propriedade penhorada. A Câmara Municipal de Torres Vedras arremataria a compra, mas as deficiências manter-se-iam não se registando qualquer exploração das nascentes.

Em 1935, Levy Augusto de Vasconcelos, solicitou à então Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos (DGMSG) a concessão das nascentes do Vimeiro com o fundamento do seu evidente abandono. Em 1938 a propriedade passou para o nome Levy Augusto de Vasconcelos que demarcou imediatamente uma área de reserva mínima de 50 hectares.

Em 1940, continua-se a constatar a precariedade das instalações que se manteve por alguns anos mais, até que em 1945, a gerência da Empresa foi assumida por Joaquim Belchior que, instado pela DGMSG, constrói um pequeno balneário e uma oficina de engarrafamento. Em 1946, é registada a presença de 305 inscrições no balneário e a venda de 5.000 garrações de 5 litros da oficina de engarrafamento.

A Empresa das Águas do Vimeiro (EAV) foi-se desenvolvendo e com ela toda a região, acabando por se tornar na principal fonte de rendimentos para as populações das localidades mais próximas, tanto mais que a agricultura começava a declinar tornando-se uma simples atividade de subsistência.

Em outubro de 2001 o Grupo Espírito Santo adquiriu todo o complexo, iniciando um processo de modernização.

Em 2008 a empresa das Águas foi adquirida pela AA-Iberian Natural Resources & Tourism SA, num grupo dividido por investidores institucionais, com sede no Luxemburgo. O novo acionista deu continuidade ao processo de modernização, tendo implementado e certificado em 2013 um Sistema de Gestão da Qualidade e da Segurança Alimentar no âmbito da unidade de engarrafamento de águas.



FIGURA 2.2 – LOGÓTIPO DA EMPRESA DAS ÁGUAS DO VIMEIRO, S.A.

2.3. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Para que se compreenda a estrutura da empresa, apresenta-se na Figura 2.3 o organograma da Empresa das Águas do Vimeiro com a representação dos vários departamentos que a compõem.

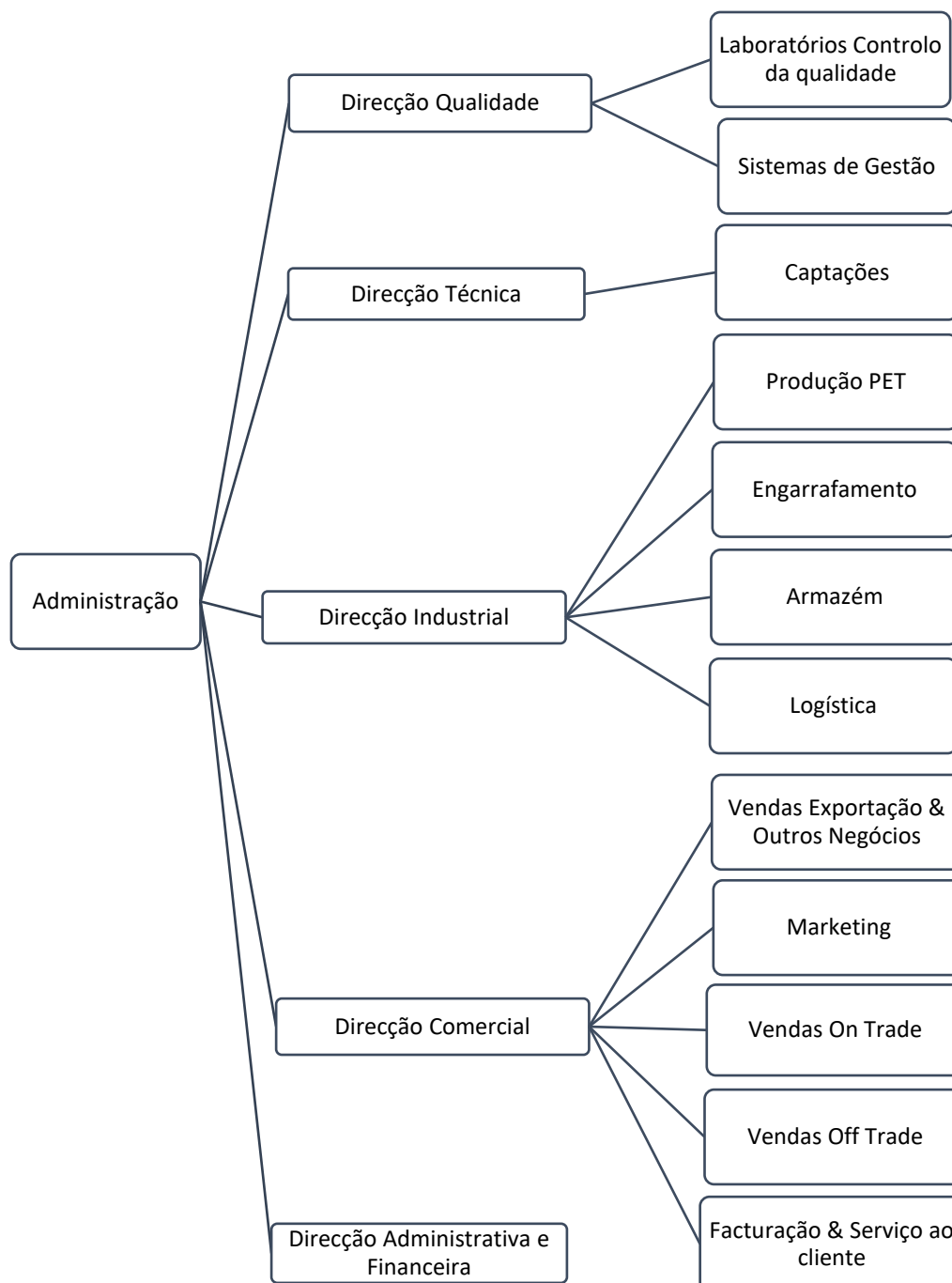


FIGURA 2.3 – ORGANOGRAMA DA EAV

O Conselho de Administração subdivide-se em cinco direções principais, onde apenas será dada especial atenção à Direção da Qualidade e Direção Industrial uma vez que os departamentos que apoiam o desenvolvimento deste trabalho se inserem nesta direção. A Direção da Qualidade tem como responsabilidades a gestão dos laboratórios de controlo da qualidade, onde é feita análise da conformidade de produtos e processos com os parâmetros. A Direção industrial tem como responsabilidade a gestão da produção que engloba o Engarrafamento PET e Vidro, onde irá ser feita a recolha de dados necessários para a elaboração deste trabalho, também é onde se faz o planeamento e Controlo da Produção e toda a análise das necessidades produtivas.

2.4. GESTÃO DA QUALIDADE E SEGURANÇA ALIMENTAR

Se definirmos a qualidade como fazer as coisas bem à primeira, no menor tempo possível, com total satisfação, tanto do pessoal responsável de realizar as tarefas como das pessoas a quem se destina a atividade, com o menor custo e o melhor aproveitamento dos recursos, é evidente o benefício que a implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar representa para as empresas e organizações. As empresas de qualquer dimensão e setor necessitam de aumentar, diariamente, a sua eficiência e competitividade em todas as áreas de gestão, com o objetivo de serem mais rentáveis no cada vez mais exigente mercado nacional, europeu e internacional. Paralelamente a esta questão, as empresas enfrentam o dilema de um consumidor cada vez mais preparado e exigente, que pretende qualidade, eficácia, serviços adicionais, atenção personalizada, etc., a preços cada vez mais convenientes.

A gestão da qualidade centra-se num conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que toca à qualidade e visa auxiliar a implementação de ferramentas e técnicas de maneira orientada à qualidade para melhorar os produtos e os processos da organização, possibilitando o incremento dos níveis de negócios de qualidade e a garantia da satisfação dos clientes (Liboreiro, 2013). Assim, para ir ao encontro das exigências do mercado, da elevada concorrência e das exigências de cliente a EAV certificou-se em 2009 no âmbito do Sistema de Gestão da Qualidade para demonstrar a sua capacidade para fornecer produtos que satisfazem os requisitos dos clientes bem como dos regulamentos aplicáveis (NP EN ISO 9001), e em 2013 no âmbito do Sistema de Gestão da Segurança Alimentar abrangendo todos os processos da cadeia alimentar que afetam a segurança do produto final (NP EN ISO 22000).

A preocupação constante com o ambiente, a melhoria das condições de higiene e segurança, a inovação sustentada da marca e dos seus produtos, a valorização dos colaboradores e o cumprimento da legislação em vigor foram alguns dos aspetos avaliados pela APCER no âmbito da auditoria realizada à EAV para a atribuição das certificações. A obtenção das certificações é mais um marco para a EAV, que vem reconhecer o empenho da empresa na excelência do processo de produção e distribuição. Reflete

também o compromisso da empresa na implementação de boas práticas que levam à satisfação dos clientes, através de produtos com elevados padrões de qualidade.

Para além da utilização da mais recente tecnologia de engarrafamento, a implementação de um sistema muito rigoroso de controlo de qualidade, fabrico e distribuição permite à EAV garantir um produto em perfeitas condições para os consumidores da marca Vimeiro. A empresa compromete-se, assim, a dar continuidade à melhoria contínua dos seus serviços e procedimentos, através do cumprimento de requisitos aplicáveis destas certificações.

De modo a acompanhar as exigências do mercado, aumentar a confiança dos consumidores, garantir a máxima qualidade e segurança de todos os produtos, melhorar o desempenho organizacional e acompanhar as necessidades de parceiros e fornecedores, em Julho de 2016, a EAV certificou-se pelo referencial *Food Safety System Certification* (FSSC 22000) à sua captação, ao seu engarrafamento e à sua distribuição primária de água mineral natural, água mineral natural gaseificada e água de mesa. A FSSC 22000 é uma norma robusta, transparente e extremamente exigente que responde a critérios internacionais de elevado rigor no que diz respeito aos requisitos de segurança alimentar.

Em 2018 com as exigências do mercado, a EAV deu outro passo em frente de modo a garantir a qualidade dos produtos e processo, através da certificação no referencial IFS *Food*, no qual obteve uma classificação de 97.59% na nova certificação de qualidade e segurança alimentar, a IFS *Food* v6.1. Esta norma, que conta com o parecer e aprovação do *Global Food Standard Initiative* (GFSI), visa garantir a qualidade e segurança alimentar de produtos e de processos, desde a produção até à respetiva comercialização.

A conquista destas certificações por parte da EAV reflete o compromisso da empresa na melhoria contínua e no reforço da qualidade dos seus serviços e produtos, de forma a garantir a satisfação do cliente. Atualmente a EAV é certificada no âmbito do Sistema de Gestão da Qualidade pelo referencial NP EN ISO 9001, e no âmbito do Sistema de Gestão da Segurança Alimentar, pelo referencial IFS *Food* v6.1, no qual se submete a auditorias de forma a manter os níveis de qualidade exigidos pelo mercado.

2.5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA MINERAL NATURAL, ÁGUA MINERAL NATURAL GASEIFICADA E ÁGUA DE MESA

O processo de produção é composto por várias etapas, o qual vai ser dividido em quatro partes: Captação e tratamento; Enchimento; Rotulagem e Embalamento; e Paletização e Armazenamento.

2.5.1. CAPTAÇÃO E TRATAMENTO

O processo (Figura 2.4) inicia-se na captação, o percurso subterrâneo da água, após infiltração no Planalto Cárstico das Cezaredas, que a água mineral natural adquire as suas características, reflexo das rochas onde circula. Ascende à superfície, ou é captada em profundidade, com características físico-químicas únicas, que se mantêm ao longo de décadas.

Atualmente, a unidade fabril é abastecida por água de duas captações. A captação EAV 9, usada para engarrafamento de Água Mineral Natural, possui uma profundidade de 250 m. Situa-se a cerca de 300m da fábrica e está equipada com uma bomba colocada a 140 m de profundidade. A captação Vimeiro 5, usada no processo de osmose inversa, possui uma profundidade de 200 m. Situa-se a cerca de 200m da fábrica e está equipada com uma bomba colocada a 30 m de profundidade.

A água é bombeada nas captações e chega à fábrica através de tubagens de polietileno e inox. Nas instalações da fábrica, as tubagens estão conectadas a depósitos isotérmicos, de aço inox 316 L, que servem para a armazenar.

A etapa seguinte é a filtração, que ocorre na zona técnica, onde se encontram filtros onde são removidas partículas em suspensão da água a uma temperatura semelhante à da Captação.

Depois de filtrada a água mineral natural proveniente da captação EAV 9 é armazenada em depósitos des em aço inox 316 L, possuem um revestimento isotérmico, por forma se necessário garantir uma temperatura inferior a 20 °C. A água mineral natural a gaseificar é arrefecida de modo para acelerar a estabilidade da concentração de CO₂ na saturadora.

O sistema de refrigeração é constituído, por um *chiller*. Este sistema, utiliza água glicolada, como fluido primário no permutador de placas em aço inoxidável sendo o circuito secundário atravessado pela água mineral.

Todos os depósitos isotérmicos possuem as entradas/saídas de ar equipadas com filtros, que garantem um arejamento eficaz e em simultâneo a segurança da matéria-prima.

A água proveniente da captação Vimeiro 5, depois de filtrada, vai sofrer um tratamento por osmose inversa para reduzir a mineralização, para produzir a Água lisa (água de consumo humano), a água vai passar por uma série de membranas para que ocorra a desmineralização, passando de uma mineralização total de 1500mg/ L, para cerca de 80mg/L. Deste modo, como a água foi alterada quimicamente, passa a chamar-se “água de mesa” (Água Lisa). De seguida é armazenada nos respetivos depósitos de inox 316 L.

A EAV faz controlo microbiológico (parâmetros legais) e físico-químico (pH e condutividade) nas captações, nos filtros, osmose inversa e água dos depósitos, para garantir a qualidade.

A água, mineral natural e de consumo humano, seguindo em tubagens independentes, é enviada para a sala de enchimento, passando por um sistema de filtração, para remoção de partículas, e por um depósito de inox de 2000L, para controlo da pressão de enchimento nas enchedoras isobarométricas.

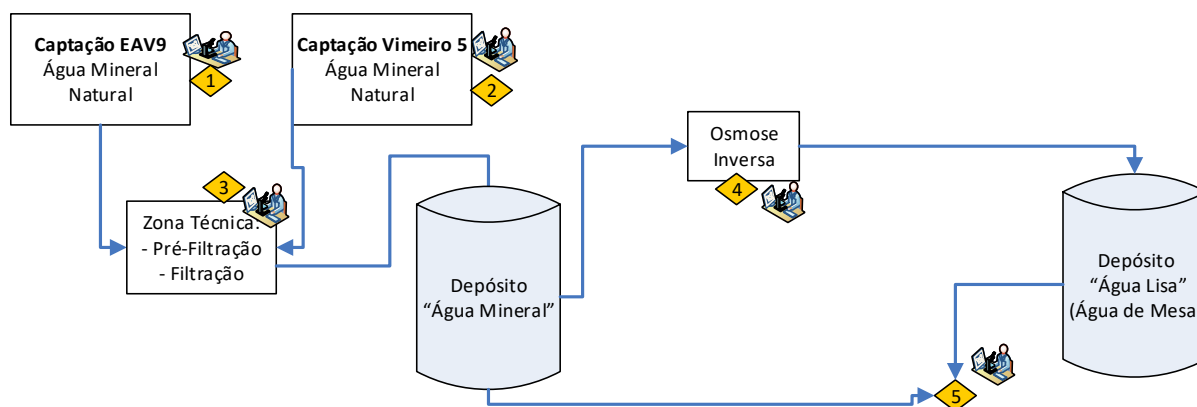


FIGURA 2.4 – CAPTAÇÃO E TRATAMENTO

2.5.2. ENCHIMENTO

A EAV dispõe de duas linhas de enchimento (Figura 2.5), com enchedoras isobarométricas, uma do tipo monobloco para a linha de PET que produz 0,25L, 0,33L, 0,50L e 1,50L e outra do tipo tribloco, para a linha de enchimento de vidro, que produz 0,125 L, 0,250 L e 0,750 L.

As garrafas PET, chegam a EAV em forma de pré-formas, onde, são introduzidas no equipamento de sopro, consoante a garrafa que se quer fabricar. Passam por um pré-aquecimento e posterior aquecimento, entram em seguida no molde, onde são sujeitas a um pré-sopro em simultâneo com o estiramento por vareta, seguido de um sopro final a alta pressão.

Após a garrafa estar soprada, segue por transportador para os silos de armazenagem em aço inox 316 L, sendo a sua distribuição efetuada por sistema de *charriot*.

As garrafas de 0,25L, 0,33L, 0,5L e 1,5L são colocadas num dos 4 silos, sendo posteriormente transportadas até à linha por transportadores de tapete isolados. As garrafas de 1,5 L podem ser debitadas diretamente para a linha de enchimento através de um transportador aéreo.

As garrafas de vidro chegam à EAV, envolvidas com filme extensível proveniente do fornecedor e são armazenadas até serem disponibilizadas à linha de produção “despaletizador”. No despaletizador, é removido o filme extensível e as garrafas são colocadas num transportador. As garrafas antes de entrarem na sala de enchimento são inspecionadas, a fim de identificar possíveis defeitos, presença de resíduos e possíveis corpos estranhos. Após a passagem no inspetor de vazio, as garrafas são enxaguadas com jato de água para retirar eventuais impurezas que possam estar presentes na garrafa.

As salas de enchimento funcionam em regime de ar assético com pressão positiva, cujo volume de ar renovado e re-circulado, passa por um sistema de filtração.

As garrafas entram na enchedora da linha do PET e da Linha do vidro, sendo o seu espaçamento garantido através de um sem-fim e são ajustadas a cada elevador através de uma estrela de entrada. A cada elevador corresponde uma válvula de enchimento que, com o movimento circular da enchedora, eleva as garrafas ajustando a marisa da mesma à válvula de enchimento. A garrafa é pressurizada, para que a pressão da garrafa seja a mesma da cuba da enchedora, permitindo assim o enchimento. O nível do enchimento da garrafa é dado pelo atingimento do ponto de saída de ar da cânula, que faz com que não entre mais água na garrafa. No caso do vidro, a garrafa é pressurizada, para que a pressão da garrafa seja a mesma da cuba da enchedora, permitindo assim o enchimento. O nível do enchimento da garrafa é dado pelo atingimento do ponto de saída de ar da cânula, que faz com que não entre mais água na garrafa.

No caso de enchimento de água gaseificada, a água no circuito para a enchedora passa pela saturadora onde ocorre a mistura e homogeneização de CO₂ purificado.

As garrafas são transportadas para a sala de enchimento, até ao posicionador. No posicionador sofrem forças contrárias que as levam a entrar em divisórias que as encaminham para os alvéolos. Posteriormente passam para um transportador aéreo.

Em ambas as linhas, após o enchimento as garrafas são capsuladas, por cápsulas metálicas na linha de vidro e de polipropileno na linha de PET. As cápsulas são previamente colocadas na tremonha, enviadas por transportador para um selecionador, ao qual se segue uma rampa de descida onde as cápsulas já se encontram posicionadas corretamente para entrarem nos cabeçotes de capsulagem.

É efetuado o controlo da qualidade microbiológico, físico-químico e controlo de processo, tais como peso da garrafa, volume de água, 1º aperto, 2º aperto, peso da cápsula, altura da garrafa e CO₂ dissolvido.

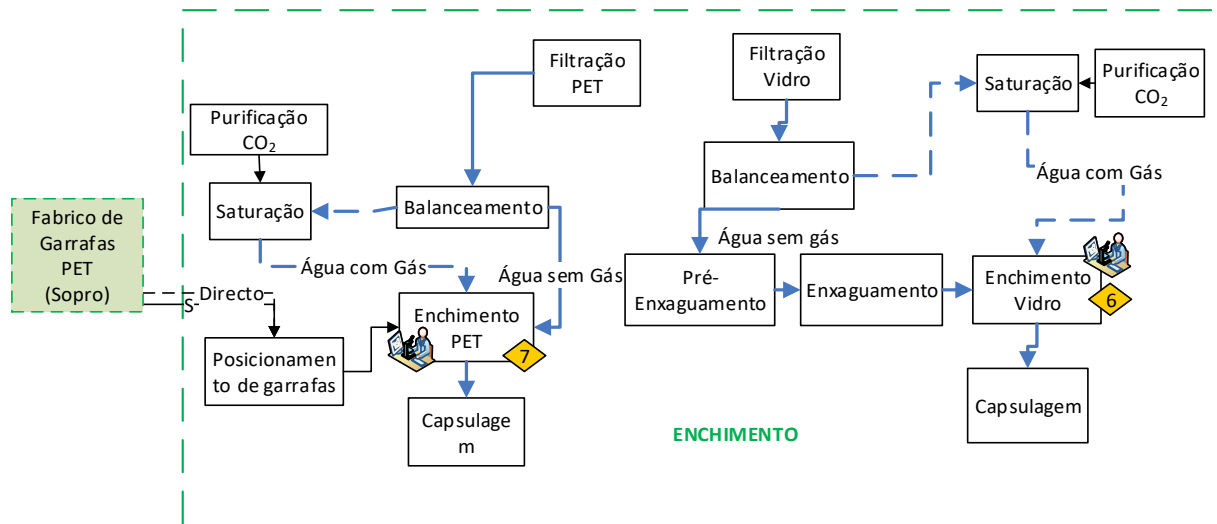


FIGURA 2.5 - ENCHIMENTO

2.5.3. ROTULAGEM E EMBALAMENTO

A rotulagem (Figura 2.6) do produto com rótulo envolvente (produtos PET) ou tipo gargantilha (produtos Vidro) utiliza colas sintéticas. É neste passo que, através do rótulo, é garantida a comunicação da informação ao consumidor.

Através de uma impressora de jato de tinta, são inscritos na cápsula da garrafa: o lote, data de validade e hora de enchimento do produto acabado. Este processo é fundamental para garantir a rastreabilidade do produto.

Nos produtos de PET, as garrafas, já rotuladas e com lote marcado, são agrupadas em embalagens e envolvidas com filme retráctil de acordo com as unidades de venda indicadas no Plano de Produção. Existe ainda, para alguns dos produtos, o formato de venda em tabuleiro de cartão, tabuleiro este que serve de base para um conjunto de 4 embalagens.

É efetuado o controlo do filme retráctil, através da pesagem do filme utilizado no pack de 2h em 2h.

No caso dos produtos de Vidro, as garrafas podem ser agrupadas em conjuntos de 6 garrafas no qual é colocada uma cartolina com impressão, formando um “six-pack”. Se aplicável, conjuntos de 4 six-packs, são embalados com filme retráctil ou colocados em tabuleiros de cartão, dependendo do formato de venda do produto em questão.



FIGURA 2.6 – ROTULAGEM E EMBALAMENTO

2.5.4. PALETIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO

As embalagens são dispostas numa paleta de acordo com o mosaico de paletização (Figura 2.7) definido referência a referência. A separação dos vários níveis da paleta é feita com recurso a placas de cartão. De seguida as paletes são envolvidas com filme extensível. As paletes de produto acabado são posteriormente envolvidas por filme extensível, identificadas através de etiquetas e armazenadas nos locais designados

As paletes do produto acabado são identificadas por etiquetas GSI-128, são armazenadas na EAV em estantes *Drive-In*, por zona, fila e piso. Podem também, ser utilizados armazéns subcontratados. A gestão de *stock* é assegurada por um programa.

A liberação do lote, para comercialização, de acordo com procedimento “Libertação de Produto Acabado”, ocorre após avaliação dos resultados físicos/químicos e bacteriológicos.

Os Produtos Acabados são expedidos de acordo com o princípio do FIFO/FEFO, que significa que o primeiro produto a entrar deverá ser o primeiro a expedir. Para além desta regra, o transporte dos produtos deve respeitar os requisitos estabelecidos no procedimento “Expedição de Mercadorias”.

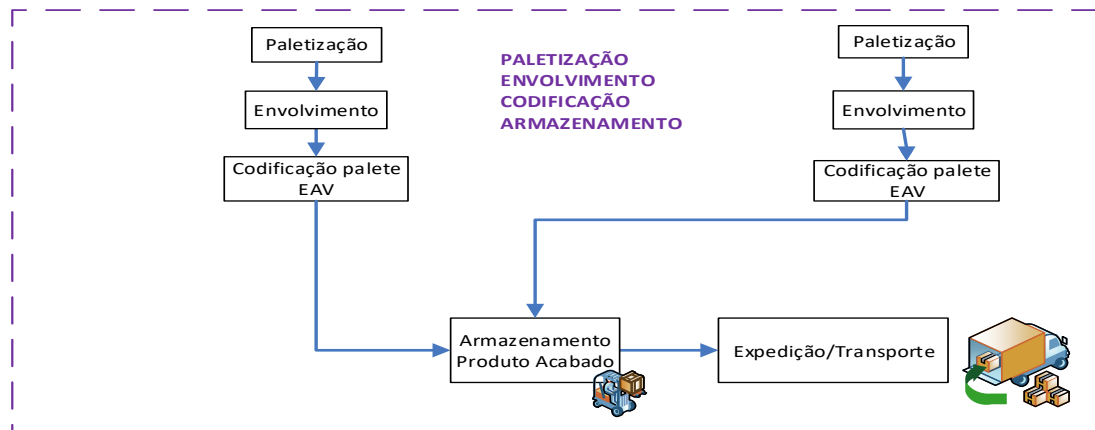


FIGURA 2.7 – PALETIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO

CAPÍTULO 3

3.1. CONTROLO E MELHORIA DA QUALIDADE

Os conceitos e os princípios de gestão da qualidade tornaram-se determinantes e essenciais às organizações tornando-as mais capazes de fazer face aos desafios que lhes são colocados por ambientes cada vez mais complexos e mais dinâmicos. O ambiente de trabalho das organizações dos nossos dias caracteriza-se por rápidas mudanças e pela globalização dos mercados exigindo por parte das empresas a utilização de técnicas e ferramentas da qualidade cujo impacto se estende para lá da satisfação do cliente tendo um impacto direto na própria reputação da empresa. A adaptação, o controlo e a melhoria continua devem ser um objetivo permanente de qualquer organização e a utilização de técnicas e ferramentas da qualidade podem auxiliar as empresas na conquista de mercados e na fidelização dos seus clientes proporcionando um grande contributo no controlo e melhoria da qualidade.

Os esforços para reduzir a variabilidade de um processo e eliminar a produção de itens não conformes devem ser realizados em permanência uma vez que a melhoria da qualidade é um processo que não tem fim. Onde o controlo do processo lida com a identificação e eliminação de causas especiais ou assinaláveis (aquelas pelas quais uma razão identificável pode ser determinada) e que forçam um sistema a ficar fora de controlo (e.g, desgaste de ferramentas, fadiga do operador, matérias-primas de fraca qualidade,), a melhoria da qualidade está relacionada com a redução da variação provocada pelas causas comuns de variação. (Amitava Mitra, 2012).

As causas comuns de variação são inerentes ao próprio sistema e estão sempre presentes pois dependem das fontes de variação características do próprio processo. Tal significa que o processo tem a variação característica dos seus próprios equipamentos, das matérias primas utilizadas no processo, dos métodos de trabalho instituídos, etc. De forma a reduzir a variação inerente ao próprio processo as ações a desenvolver têm de ser estrategicamente delineadas pela gestão (e.g., uma máquina apresenta uma variabilidade excessiva e precisa de ser substituída por uma outra máquina mais recente). Já no que diz respeito às causas especiais de variação estas são normalmente identificadas pelos operadores e as ações a desenvolver para a sua eliminação são tipicamente desenvolvidas ao nível da gestão das operações muitas vezes pelos próprios operadores. A melhoria da qualidade corresponde assim a um esforço continuo dos operadores e da gestão correspondendo as ações de melhoria fundamentalmente a esforços

da gestão no sentido de desenvolver estratégias para a redução contínua da variabilidade dos processos, o que corresponderá a um aumento sustentado da qualidade.

A maioria dos especialistas em controlo da qualidade atribuem às causas comuns de variação um peso de aproximadamente 90% naquilo que são os problemas típicos de uma organização ((Amitava Mitra, 2012). W. Edwards Deming, uma grande autoridade na área da qualidade referiu nas suas bem conhecidas 14 recomendações para a gestão (W. E. Deming, 2012) que a gestão tem um papel determinante nas ações a desenvolver para a redução do efeito provocado pelas causas comuns de variação e como tal se uma organização tem interesse em melhorar a sua qualidade precisa de identificar as causas raiz dos problemas e a gestão tem de iniciar os esforços e as ações para a resolução dos problemas. A melhoria da qualidade deve ser um objetivo permanente de qualquer organização uma vez que contribui para melhorar a produtividade, melhorar a imagem da organização junto dos seus clientes e reduzir os custos. Os esforços de melhoria da qualidade devem ser consistentes com a filosofia de atuação da organização e no seu empenho em alcançar níveis de excelência cada vez mais elevados. A melhoria da qualidade assenta no princípio de que quanto maior for o desvio de uma determinada característica da qualidades relativamente ao seu valor alvo (e.g. valor de especificação) pior será a sua qualidade e neste sentido o objetivo será trabalhar ao valor alvo com a menor variação possível. G. Taguchi (Taguchi, 2004) desenvolveu o conceito de função perda para lidar precisamente com a questão de se trabalhar ao valor alvo com a menor variação possível, podendo afirmar-se que a perda é diretamente proporcional à variação. Na abordagem clássica da qualidade muitas vezes os procedimentos de melhoria terminam quando se atinge a condição de produzir todas as unidades dentro das especificações e a qualidade aparece relacionada com a conformidade com os requisitos. A figura 3.1 apresenta o conceito de função perda de Taguchi e o síndrome da meta final onde se pode verificar que existem diferentes níveis de qualidade mesmo para produtos que encontram dentro de especificação. O nível da qualidade aumenta à medida que se produz centrado no valor alvo e com a menor variação possível em torno desse alvo (Montgomery, 2005).

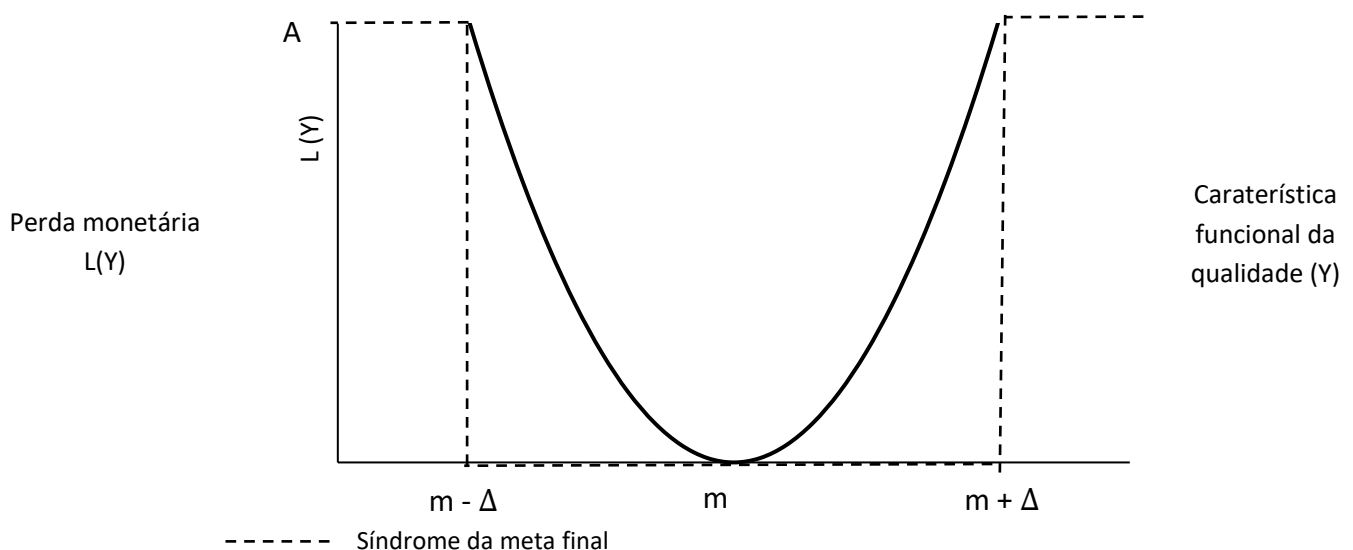


FIGURA 3.1 - FUNÇÃO PERDA DE TAGUCHI

Quando o processo está dentro de especificação não existe perda monetária, mas quando está fora de especificação tem perda monetária.

Se Y é o valor da resposta para uma determinada característica de performance para a qual o valor alvo é “ m ”, então a perda $L(Y)$ devido ao desvio de Y relativamente a “ m ” pode ser expandida por uma série de Taylor em redor de “ m ”.

Na perspetiva da função de perda que visa fundamentalmente a melhoria continua os procedimentos de melhoria continua da qualidade vão continuar até que o processo esteja exatamente centrado e trabalhando sempre para atingir a excelência com a redução continua da variabilidade e consequente aumento do nível de qualidade.

3.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA QUALIDADE

A Qualidade tornou-se ao longo dos anos num dos principais fatores de decisão de compra de um determinado produto ou serviço, sendo a sua compreensão e as ações de melhoria da qualidade fatores chave que conduzem ao sucesso do negócio (Montgomery, 2005).

No entanto, as preocupações com a qualidade já eram visíveis em civilizações tão antigas como a Egípcia, a Grega ou a Romana (Pires, 2016).

Desde o início da civilização, os seres humanos sempre encontraram problemas relacionados com a qualidade. Os antigos coletores de comida precisavam de aprender quais os alimentos que podiam ser consumidos ou não. Os caçadores precisavam de descobrir quais as ferramentas que serviam melhor os propósitos específicos. Durante esse período, o conceito de controlo da qualidade foi medido pelo tempo em que esses caçadores e coletores de alimentos permanecerem vivos (Lewis & Smith, 1994). Quanto melhores as ferramentas, maior a probabilidade de sobrevivência. Era relativamente fácil para cada coletor de alimentos ou caçador primitivo definir qualidade por ser o fornecedor, produtor e cliente do seu próprio trabalho (Maguad, 2006).

Esta fase, segundo Feigenbaum, foi denominada de fase de controlo de qualidade pelo operador (*operator quality control period* do anglo-saxónico) (A. V. Feigenbaum, 1981).

No início do século vinte e até aproximadamente 1920, iniciou-se uma nova fase caracterizada pela atribuição da responsabilidade do controlo de qualidade a um determinado indivíduo (*foreman quality control period* do anglo-saxónico). Com a Revolução Industrial deu lugar ao conceito de produção em massa que por sua vez teve por base o conceito de trabalho qualificado, onde já não existia apenas um indivíduo responsável pela produção integral de um produto, mas sim por uma parte. Isto levou a especialização de trabalhadores em áreas distintas que por sua vez eram agrupados de acordo com as operações a serem realizadas, onde um supervisor era responsável pelo controlo da qualidade e pela realização de outras tarefas de acordo com as suas competências (de Mast, 2008).

O período entre 1920 e 1940, segundo Feigenbaum, foi caracterizado pela inspeção no controlo da qualidade (*inspection quality control period* do anglo-saxónico) onde existiam responsáveis pela inspeção da qualidade do produto após certas operações (A. V. Feigenbaum, 1983). Nesse período começaram a existir normas de comparação que eram seguidas por esses inspetores de forma a aprovar a conformidade com a qualidade de um determinado produto (Maguad, 2006). Shewhart desenvolveu as cartas de controlo em 1924 para lidar com a questão da variação, deslocando o foco da correção dispendiosa dos problemas para a prevenção de problemas e a melhoria dos processos (Rinehart, 1993).

A fase seguinte na evolução do processo, segundo Feigenbaum (1983), foi a fase do controlo estatístico da qualidade (*statistical quality control period* do anglo-saxónico) que decorreu entre 1940 e 1960. As exigências na produção tiveram um aumento acentuado devido à Segunda Guerra Mundial e uma vez que a inspeção a 100% não era uma alternativa prática, iniciou-se a implementação de planos de recolha de amostras (*sampling*). Apesar dos danos sofrido durante este período, o Japão interiorizou os conceitos de controlo estatístico da qualidade que, associado às visitas de W. Edwards Deming e J.M. Juran para lecionar estas novas ideias em 1950, levou a que os engenheiros japoneses e a própria gestão de topo tivesse uma melhor noção da importância do controlo estatístico da qualidade como meio para alcançar vantagem competitiva no mercado mundial.

A fase que se seguiu foi a fase do controlo total da qualidade (*total quality control* do anglo-saxónico) durante os anos sessenta (A. V. Feigenbaum, 1983). Esta fase foi caracterizada pelo gradual envolvimento de diversos departamentos no controlo da qualidade, promovendo uma mudança no paradigma daquela altura, uma vez que a produção com qualidade de um determinado produto apenas seria possível com a contribuição de todos os departamentos. Foi nesta altura que surgiram os conceitos da *produção com zero defeitos* e os “círculos da qualidade”, que tinham por base o envolvimento de elementos dos vários níveis de gestão. Este conceito evoluiu ao longo dos anos setenta para, segundo Feigenbaum (1983), o conceito de controlo organizacional total da qualidade que contava com um envolvimento que ia desde o *shop floor* até aos níveis mais executivos de gestão. A qualidade passava a ser responsabilidade de todos os colaboradores da empresa dos mais variados níveis hierárquicos, o que por sua vez deu início ao paradigma dos sistemas de gestão pela qualidade total (*total quality systems* do anglo-saxónico). Durante este século G. Taguchi introduziu, no Japão, o conceito de melhoria da qualidade através do desenho estatístico de experiências, que por sua vez foi desenvolvido ao longo dos anos noventa.

A partir do final do século XX, inseridas num contexto de grande competitividade, as companhias tentam atingir cada vez mais elevados níveis de eficiência e qualidade. As margens de lucro são cada vez menores e as companhias que não tomam as precauções devidas relativamente à eficiência e qualidade, começam a perder relevo. Exemplo disso foi a Motorola, que sofreu grandes perdas no final da década de 1970. Surgiu assim a necessidade da empresa inovar do que diz respeito à Qualidade, e em consequência disso o aparecimento da estratégia Seis Sigma na década de 1980 na empresa. Com o passar dos anos a metodologia madureceu, começando a ganhar especial relevo após a sua utilização bem sucedida na General Electric, sendo hoje considerada como a última inovação no que à gestão da qualidade diz respeito (de Mast, 2008).

Com o desenvolvimento informático e a utilização do computador ao longo dos anos oitenta, foram desenvolvidos e comercializados inúmeros *softwares* para controlo da qualidade. O crescente foco na satisfação do cliente e na melhoria contínua da qualidade resultou na criação de organizações responsáveis por sistemas de normas e linhas de orientação para suportar a filosofia da qualidade tal como a *International Organization for Standardization (ISO)* que desenvolveu um conjunto de normas, nomeadamente as ISO 9001:1987, ISO 9002:1987 e ISO 9003:1987, no final dos anos oitenta e a *American National Standards Institute (ANSI)*.

O crescimento na área da análise de grandes volumes de dados (*Big Data*) e facilidade na recolha de grandes volumes de informação relativa a especificações e necessidades do cliente permitirá alcançar melhorias significativas na qualidade, que por sua vez tende para um paradigma em que não há tolerância para o erro, visto que as características críticas para a qualidade são analisadas e assimiladas em tempo real (Amitava Mitra, 2012).

3.3. DEFINIÇÕES DA QUALIDADE

O conceito de qualidade tem sido definido de diversas formas por uma grande variedade de autores. No processo de seleção de um determinado produto ou serviço, por parte do cliente o conceito da qualidade é um dos fatores mais importantes.

De entre todas as definições da qualidade, Juran define qualidade como “adequação ao uso” (Juran, 1998). Crosby define qualidade como sendo “conformidade com as especificações” (Crosby, 1979). Montgomery (2005), define qualidade como sendo “inversamente proporcional à variabilidade”. A redução na variabilidade é crucial para alcançar os níveis de qualidade desejados num determinado produto, processo ou sistema, como tal é necessário haver um controlo da qualidade que tenha por base o feedback e as especificações importantes do cliente e através da implementação de planos de correção para situações em que existem desvios nos níveis da qualidade. É fundamental por um lado o cumprimento do valor alvo ajustando os níveis de trabalho ao valor de especificação e por outro lado trabalhar sempre no sentido de uma redução gradual da variação o que conduzirá ao aumento da capacidade dos processos e conseqüente aumento da sua qualidade. O controlo eficaz e eficiente da qualidade só poderá ser atingível se numa determinada empresa ou organização existir uma gestão centrada na qualidade, em que todos os departamentos trabalham em sintonia para alcançar níveis de qualidade, para que seja possível ganhar vantagem competitiva face à concorrência existente (Montgomery, 2005).

Perceber a importância da qualidade e tomar medidas no sentido de promover a sua melhoria contínua é um passo fundamental para qualquer organização se destacar no mercado e ganhar vantagem competitiva face aos seus concorrentes diretos (Hoyer & Hoyer, 2011). A qualidade apresenta oito dimensões importantes (Garvin, 1987):

- O desempenho, que está associado à capacidade de um produto ser adequado para a função pretendida.

- A fiabilidade, que está associada à frequência com que um produto falha.
- A durabilidade, que está relacionada com o período de tempo em que o produto é adequado para o fim que foi concebido.
- A manutenibilidade, que está relacionada com a facilidade de reparação e manutenção de um produto.
- As características estéticas, que estão associadas à imagem que uma determinada empresa pretende atribuir ao seu produto.
- A funcionalidade, que está relacionada com as funções que um determinado produto é capaz de executar.
- A perceção de Qualidade, que está relacionada com a reputação que o cliente tem da empresa e do seu produto.
- A conformidade com as especificações que está relacionada com a capacidade de um produto obedecer às exigências impostas.

Estas oito dimensões da qualidade introduzidas por Garvin em 1987 têm como principal objetivo a decomposição do conceito da qualidade em várias dimensões de forma a poder analisar estrategicamente as características da qualidade.

Segundo a norma NP EN ISO 9000:2015 a qualidade é definida como “o grau de satisfação dado por um conjunto de características intrínsecas de um objeto” e esse objeto poderá ser um produto, um serviço, um processo, um sistema, entre outros.

Resumindo, a qualidade é apresentada como um conjunto de características existentes no próprio produto, serviço, processo, etc., que esteja de acordo com as suas especificações e que no mínimo vá ao encontro das expectativas dos seus clientes.

De forma a alcançar os níveis de qualidade desejados as organizações utilizam ferramentas da qualidade nos seus processos com o objetivo de fornecer informações para um adequado diagnóstico, prevenção e deteção de problemas nos processos avaliados, evitando desperdícios e conduzindo a organizações mais eficazes e eficientes.

3.4. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O Controlo Estatístico do Processo (*SPC*) define-se como um conjunto de ferramentas que se destinam à resolução de problemas relacionados com a estabilidade dos processos, bem como à melhoria da capacidade dos mesmos, através da redução da sua variabilidade (Montgomery, 2005). É um sistema de controlo que pode ser descrito como um sistema de feedback, ou seja, permite a atuação sobre o processo de forma preventiva. Os produtos têm de estar de acordo ou exceder as expectativas dos clientes, assim devem ser produzidos através de processos estáveis e que tenham em consideração as especificações.

A representação gráfica dos dados do processo ao longo do tempo pode fornecer um contexto importante para avaliar e orientar os esforços de melhoria, mas a compreensão ideal dos padrões aleatórios e não aleatórios que os dados possam evidenciar requer uma análise mais rigorosa. O *SPC* é um campo da estatística analítica que fornece ferramentas robustas necessárias para esse tipo de análise. Na sua essência, o *SPC* é uma filosofia que apoia a aprendizagem através dos dados incorporando pensamento de processo, estudo analítico, previsão e análise da estabilidade e capacidade do processo (Thor et al., 2007). As teorias que sustentam esta abordagem foram desenvolvidas no final da década de 1920 pelo Dr Walter Shewhart enquanto trabalhava nos laboratórios de Western Electric (W. E. (William E. Deming, 2000) (Shewhart, 1931).

Na maioria das aplicações de *SPC* supõe-se que a qualidade de um processo ou de um produto pode ser adequadamente representada pela distribuição de uma característica da qualidade univariada ou pela distribuição multivariada geral de um vetor que consiste em várias características da qualidade correlacionadas. Em muitas situações práticas, a qualidade de um processo ou produto é melhor caracterizada e resumida por um relacionamento entre uma variável de resposta e uma ou mais variáveis explicativas. Assim, em cada estágio de amostragem, observa-se um conjunto de dados que podem ser representados graficamente (Woodall, Spitzner, Montgomery, & Gupta, 2004).

As cartas de controlo são um tipo especial de representação gráfica muito utilizadas para o acompanhamento de um processo. As cartas permitem a determinação estatística de uma zona delimitada superiormente pelo limite superior de controlo e inferiormente pelo limite inferior de controlo tendo ainda presente uma linha central. As cartas de controlo têm como finalidade poder verificar de uma forma visual se o processo está sob controlo estatístico e isento de padrões não aleatórios e como tal de causas especiais ou assinaláveis de variação. As cartas de controlo fazem parte de um conjunto de sete ferramentas da qualidade a utilizar pelas organizações na resolução de problemas e no delineamento de estratégias de melhoria contínua.

O *SPC* assenta num conjunto de princípios, é simples de utilizar, tem um contributo elevado no bom desempenho das organizações e pode ser aplicado a qualquer tipo de processo.

As suas sete principais ferramentas são (Montgomery, 2005):

- Fluxograma do processo;
- Folhas de verificação;
- Diagrama de Pareto;
- Diagrama de causa-efeito ou Diagrama de *Ishikawa*;
- Diagrama de dispersão;
- Histograma;
- Cartas de controlo.

Na Figura 3.2 apresentam-se as ferramentas básicas da qualidade:

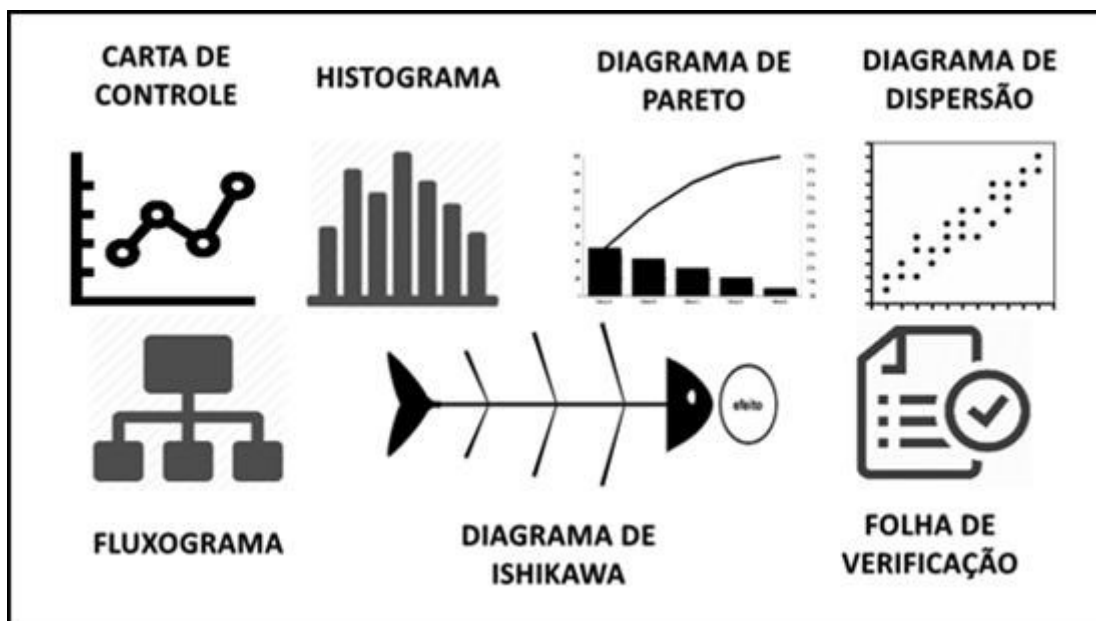


FIGURA 3.2 – SETE FERRAMENTAS DA QUALIDADE (FONTE: (“AS #7 FERRAMENTAS DA #QUALIDADE | LINKEDIN,” N.D.))

Os fluxogramas permitem a representação esquemática de um processo que ilustra de uma forma simples os passos necessários para a execução de um qualquer processo. As folhas de verificação correspondem a formulários de recolha e preenchimento de dados dos vários itens a verificar e devem poder ser preenchidos de forma fácil e concisa. O diagrama de Pareto permite visualizar os diversos elementos de um problema e auxilia na determinação da prioridade de atuação. O diagrama de causa-efeito também chamado de diagrama de espinha de peixe ou diagrama de *Ishikawa* relaciona as causas de um determinado problema com o seu efeito. O diagrama de dispersão é usado para estudar a relação entre características da qualidade. Os histogramas são ferramentas que permitem visualizar a forma como os dados se distribuem e permitem uma visão geral da variação de um conjunto de dados. As cartas de controlo permitem saber se o processo é estável e apenas tem presente variação aleatória ou se por outro lado existem causas especiais de variação. As cartas de controlo informam sobre o comportamento do processo permitindo verificar se este se encontra sob controlo estatístico ou em caso negativo identificar as causas especiais ou assinaláveis no sentido de implementar medidas de forma a tornar o processo estável e previsível.

3.4.1. CAUSAS DE VARIAÇÃO DA QUALIDADE

Um processo (Figura 3.3) é um conjunto de atividades interrelacionadas e interagentes que transformam entradas (*input*) em saídas (*output*) (NP EN ISO 9000:2015). A saída, resultado final do processo, deve satisfazer os requisitos estabelecidos, pelo cliente e/ou pela própria empresa para além de todos os regulamentares e estatutários para as várias características da qualidade.

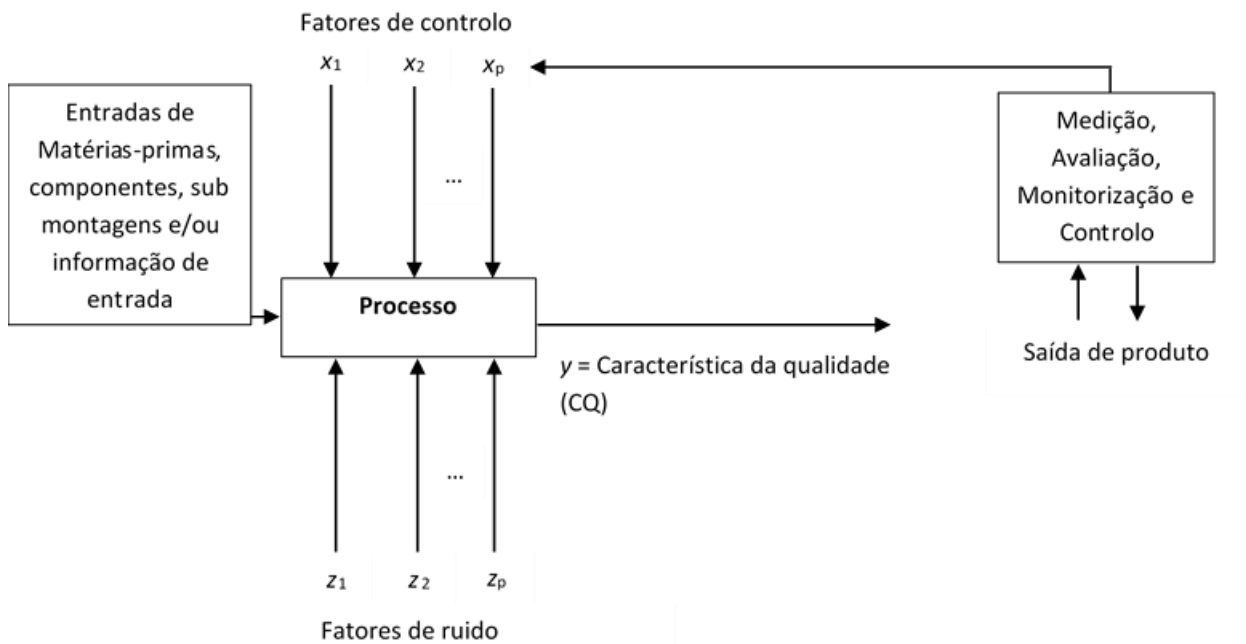


FIGURA 3.3 - ENTRADAS E SAÍDAS DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO (ADAPTADO DE MONTGOMERY, 2005)

Para gerir adequadamente um processo numa ótica de melhoria contínua, é fundamental identificar as causas de variação da qualidade de uma peça produzida para outra, o que implica a distinção clara entre as denominadas causas aleatórias, que são causas comuns de variação, e causas não aleatórias, que correspondem a causas assinaláveis ou causas especiais de variação.

As causas aleatórias de variação são fontes de variação num processo que está sob controlo estatístico. Estas correspondem a valores individuais de uma determinada característica que se apresentam diferentes mas cujo o conjunto segue um certo padrão que pode ser descrito por uma distribuição de probabilidade caracterizada por uma determinada forma e por parâmetros de localização e dispersão (Xiao, Jiang, & Luo, 2019).

Quando apenas temos presentes no processo *causas comuns de variação*, o processo é considerado como estando *sob controlo estatístico*, sendo estável e previsível. Por outro lado, as causas possíveis de serem identificadas são denominadas *causas assinaláveis* e são derivadas de problemas relacionados com um

deficiente controlo do processo. São causas esporádicas e que não se inserem na distribuição seguida por uma característica quando o processo está *sob controlo estatístico* Figura 3.4.

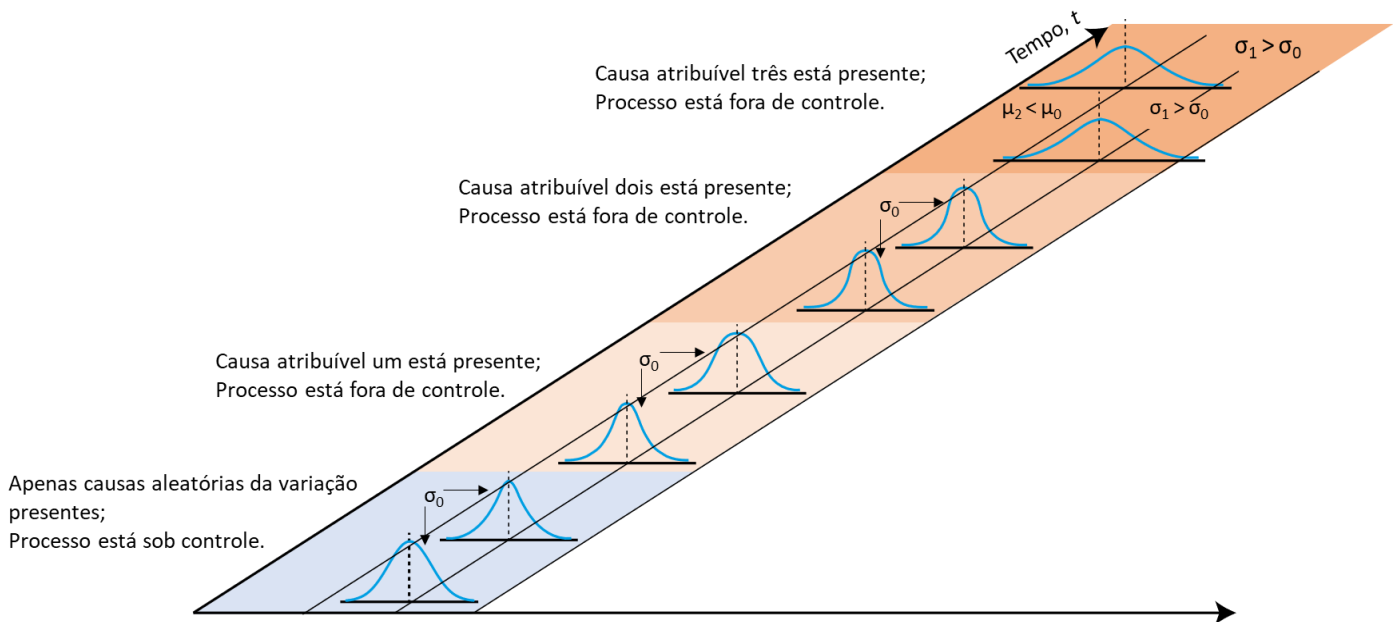


FIGURA 3.4 - CAUSAS ESPECIAIS DE VARIAÇÃO E CAUSAS ALEATÓRIAS DE VARIAÇÃO (ADAPTADO DE MONTGOMERY 2005)

Quando uma causa assinalável está presente, diz-se que o processo está *fora de controlo estatístico* e a variação no processo poderá ser excessiva fruto de variações provocadas pelas causas assinaláveis que usualmente são de maior magnitude quando comparadas com a variação aleatória provocada pelas causas comuns de variação. Embora seja impossível eliminar a variação provocada por *causas* comuns de *variação*, uma vez que a variação aleatória está sempre presente, deve procurar-se reduzir a variação dos processos ao longo do tempo, sendo para isso possível recorrer à utilização de algumas das ferramentas da qualidade tais como o “Planeamento de Experiências” ou os “Métodos de Taguchi”. Tal como foi referido anteriormente as organizações que utilizam estratégias para redução contínua da variação presente nos seus processos atingem elevados níveis de qualidade estando mais aptas para competir com os seus concorrentes.

Por seu lado, a deteção e eliminação das *causas assinaláveis* é uma tarefa do quotidiano das organizações e geralmente feita por operacionais que se encontram mais diretamente relacionados com o processo. Sendo causas indesejáveis é indispensável a sua imediata eliminação quando detetadas. As cartas de controlo permitem detetar as *causas assinaláveis* quando estas se manifestam, assumindo assim um papel de extrema importância na prevenção da ocorrência de *produto não conforme* e na redução de custos.

Com efeito, várias são as vantagens decorrentes da implementação adequada de cartas de controlo (Besterfield, 2009) (Byun, 1998) (Pereira & Requeijo, 2008)

Apresentam-se algumas fontes de variação que podem afetar a característica da qualidade. Estas podem ser agrupadas em seis categorias:

- ❖ Máquinas (Desgaste de ferramentas; vibrações; ajustamentos nos equipamentos; entre outros);
- ❖ Mão-de-obra (Estado emocional e físico; níveis de conhecimento; formação; métodos e técnicas de trabalho; entre outros);
- ❖ Matéria-prima (troca de matéria prima, deficiente qualidade da matéria prima, ...);
- ❖ Métodos (Deficiente definição das operações; métodos desajustados; operações não mencionadas);
- ❖ Metrologia (Erros de medição; uso incorreto dos equipamentos de medição; falta de formação do operador; equipamento de medição inadequado);
- ❖ Meio ambiente (Humidade; temperatura; poeiras; luminosidade, radiação, entre outros).

A variação provocada por causas comuns que é usualmente conhecida por variabilidade natural do processo é inerente ao próprio processo e estará presente mesmo quando todas as operações forem efetuadas com métodos padronizados. Essa variação é a variação característica dos próprios equipamentos, das matérias primas com que a empresa trabalha, dos métodos instituídos, da mão de obra usada, etc. Quando esporadicamente surgem causas assinaláveis devido a uma situação anómala tal faz com que o processo se comporte de um modo diferente do usual. Alguns exemplos de causas assinaláveis são por exemplo a calibração não adequada de um instrumento de medição, a troca inadvertida de uma matéria prima, um novo operador não experiente e sem treino adequado, um defeito numa matéria prima, etc.

As duas formas de reduzir a variabilidade dos processos são:

- ❖ Eliminação das causas assinaláveis de variação (i.e. situações anómalas a corrigir)
- ❖ Redução das causas comuns de variação

3.5. CARTAS DE CONTROLO

A típica carta de controlo é uma das ferramentas estatísticas mais usuais e efetivas para a monitorização do processo produtivo. Trata-se de uma demonstração gráfica de uma estatística de uma determinada característica da qualidade que foi medida ou calculada no controlo e melhoria do processo, que mostra a evolução ao longo do tempo, permitindo identificar causas não aleatórias de variação e produzir de acordo com as especificações do processo de forma a mantê-lo sob controlo estatístico, na ótica da melhoria contínua.

O gráfico apresenta limites de controlo como forma de controlo em tempo real conforme o funcionamento do processo. Assim contém uma linha ao centro, que representa o valor médio da característica da qualidade (LC), duas outras linhas horizontais, designadas como limite superior de controlo (LSC) e limite inferior de controlo (LIC). Esses limites de controlo são escolhidos de modo que, se o processo estiver sob controlo quase todos os pontos representados na carta se encontram entre esses limites (Montgomery, 2005) (Amit Mitra, 2002) (Read & Kume, 1989).

A carta de controlo é uma ferramenta de extrema utilidade na avaliação do estado de controlo estatístico de um processo sendo muito mais informativo do que um gráfico de tendências (i.e. *run chart*). As principais funções de uma carta de controlo são:

- ❖ Evidenciar que um processo se encontra a funcionar em estado de controlo estatístico e sinalizar a presença de causas especiais de variação de forma que medidas de correção adequadas possam ser aplicadas.
- ❖ Manter os processos sob o estado de controlo estatístico entendendo os limites de controlo como base para a tomada de decisões.
- ❖ Apresentar informações para que se possam tomar ações de gestão com vista à melhoria contínua dos processos.

São várias as razões que contribuem para a popularidade de utilização das cartas de controlo (Montgomery, 2005).

1. As cartas de controlo são uma técnica comprovada para melhorar a produtividade. Um programa de cartas de controlo bem sucedido reduz desperdícios e retrabalho, que são as principais causas pela produtividade em qualquer operação. Se uma empresa reduzir os desperdícios e retrabalho, a produtividade aumenta, o custo diminui e a capacidade de produção aumenta.
2. As cartas de controlo são eficazes na prevenção de defeitos. A carta de controlo auxilia a manter o processo sob controlo, o que é consistente com a filosofia “fazer bem à primeira”. Nunca é mais barato separar as unidades “boas” das unidades “más” mais tarde do que construí-las corretamente à primeira. Se o controlo do processo não for eficaz, a empresa está a produzir fora de especificações.
3. As cartas de controlo evitam ajustes desnecessários do processo. Uma carta de controlo pode distinguir entre um ruído de fundo e uma variação anormal; nenhum outro instrumento, incluindo um operador humano, é tão eficiente para fazer esta distinção. Se os operadores

ajustam o processo com base em testes periódicos não relacionados a uma carta de controlo, frequentemente terão que reagir mais ao ruído de fundo e fazerem ajustes que não seriam necessários. Esses ajustes podem resultar na deterioração do desempenho do processo.

4. As cartas de controlo fornecem informação de diagnóstico. O padrão dos pontos numa carta de controlo contém informação de valor para o diagnóstico do processo. Essa informação permite a implementação de uma mudança no processo para que melhore o seu desempenho.
5. As cartas de controlo fornecem informação sobre a capacidade do processo. As cartas de controlo fornecem informação sobre o valor de vários parâmetros importantes do processo e sobre a estabilidade ao longo do tempo, permitindo fazer uma estimativa da capacidade do processo.

3.5.1. MODELO GERAL DE UMA CARTA DE CONTROLO

Uma carta de controlo é composta por uma linha central e limites de controlo que são construídos com base na amostragem retirada ao longo do processo de produção e que mostram a evolução ao longo do tempo de uma estatística referente a uma determinada característica da qualidade possibilitando a sua monitorização. Seja ω uma estatística da amostra que mede alguma característica da qualidade de interesse e supondo que a média de ω é μ_ω , e o desvio-padrão de ω é σ_ω , então a linha central (LC) o limite superior de controlo (LSC) e o limite inferior de controlo (LIC) podem ser dados por (Montgomery, 2005):

$$LSC = \mu_\omega + L\sigma_\omega \quad (3.1)$$

$$LC = \mu_\omega \quad (3.2)$$

$$LIC = \mu_\omega - L\sigma_\omega \quad (3.3)$$

sendo L a “distância” dos limites de controlo à linha central expressa em unidades de desvio padrão.

Esta teoria geral de construção de cartas de controlo foi primeiramente proposta por *Walter A. Shewhart* e por esse motivo as cartas de controlo desenvolvidas segundo estes princípios são denominadas de cartas de controlo de *Shewhart* (Montgomery, 2005).

Além dos pontos relativos ao par (t, ω) , que constituem o padrão de evolução do processo, são representados no gráfico os limites superior (LSC) e inferior (LIC) de controlo estatístico, que marcam a evolução dos valores estatísticos das amostras e a linha média (central (LC)) ajuda na deteção da tendência dos valores marcados em relação a qualquer limites de controlo. Num processo sob controlo estatístico o padrão deve se perfeitamente aleatório no intervalo compreendido entre os limites de controlo (Figura 3.5)

Num processo sob controlo estatístico, a distribuição deve ser perfeitamente aleatória no intervalo compreendido entre os limites de controlo superior e inferior. Se um ou mais pontos da distribuição não

se encontrar entre os limites de controlo superior e inferior, pode inferir-se que o processo está fora de controlo estatístico. Para além disso também existe um conjunto de regras adicionais para deteção de situações de fora de controlo estatístico tal como se pode ver em 3.5.5.

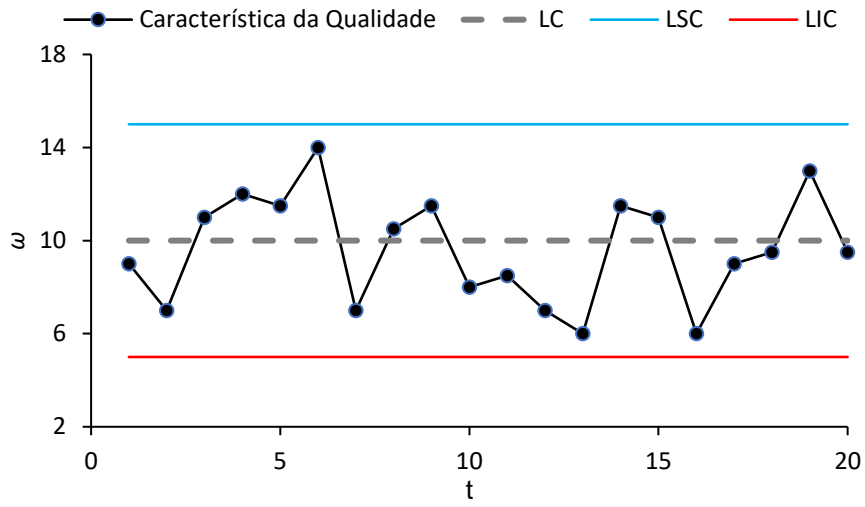


FIGURA 3.5 – ESQUEMA GERAL DE UMA CARTA DE CONTROLO

3.5.2. ESCOLHA DOS LIMITES DE CONTROLO

Os limites de controlo definidos por Shewhart (1931) estão localizados a $\pm 3\sigma_\omega$ da linha central, em que a estatística ω segue uma Distribuição Normal, com média μ_ω e desvio-padrão σ_ω . Os limites de controlo e a linha central são definidos pelas equações:

$$LSC = \mu_\omega + 3\sigma_\omega \quad (3.4)$$

$$LC = \mu_\omega \quad (3.5)$$

$$LIC = \mu_\omega - 3\sigma_\omega \quad (3.6)$$

Os limites de controlo estão a $\pm 3\sigma_\omega$ da linha central, ou seja, existe 99,73% de um ponto se encontrar dentro dos limites de controlo, e consequentemente uma probabilidade de α de 0,27% de encontrar um ponto fora dos limites. A probabilidade α , designa-se como erro do tipo I ou risco do produtor, ou seja, a probabilidade de se considerar que um processo está fora de controlo, quando na realidade está dentro de controlo. O erro do tipo II, risco do consumidor, está associado à probabilidade β , de um processo estar fora de controlo, mas considera-se que está sob controlo estatístico.

Para α igual a 0,27%, ou seja, de 370 em 370 instantes ocorre um *falso alarme*. O valor 370 é designado por *ARL (Average Run Length)*, utilizado para medir o desempenho de uma carta de controlo.

O *ARL* é o número médio de pontos representados até um ponto indicar uma situação fora de controlo. Assim se o processo estiver sob controlo estatístico é desejável que o valor de $ARL_{Em\ controlo}$ seja o maior possível, minimizando falsos alarmes. Por outro lado, caso o processo se encontre fora de controlo estatístico, o $ARL_{Fora\ de\ controlo}$ deve tomar o menor valor possível, de modo a detetar mais rapidamente uma alteração no parâmetro do processo (Montgomery, 2005) (Amit Mitra, 2002).

As expressões (3.7) e (3.8), respetivamente, para o cálculo de $ARL_{Em\ controlo}$ e $ARL_{Fora\ de\ controlo}$.

$$ARL_{Em\ controlo} = \frac{1}{\alpha} \quad (3.7)$$

$$ARL_{Fora\ de\ controlo} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (3.8)$$

Vários autores sugerem o uso de dois conjuntos de limites nas cartas de controle (

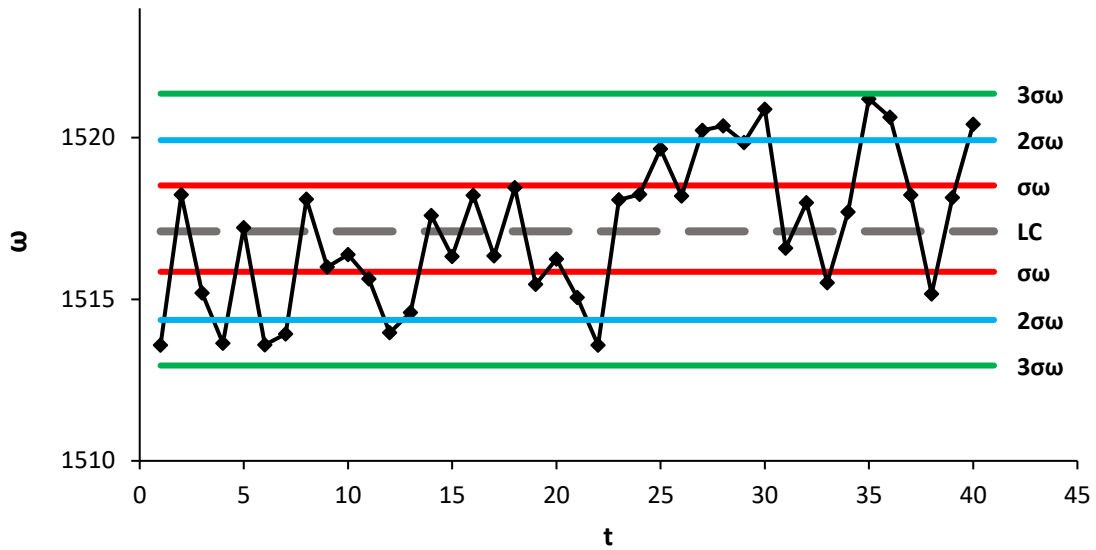


Figura 3.6). Os limites exteriores - 3σ - são os usuais limites de ação, ou seja, quando um ponto se situa fora desse limite, procura-se uma causa atribuível e toma-se uma ação corretiva, caso necessário. Os limites interiores, usualmente em 2σ (representado pelas equações 3.9, 3.10 e 3.11), são definidos de limites de alerta. A utilização de limites de alerta pode aumentar a sensibilidade da carta de controle e sinalizar mais rapidamente uma mudança no processo, embora também possam aumentar o risco de falsos alarmes (Montgomery, 2005). A

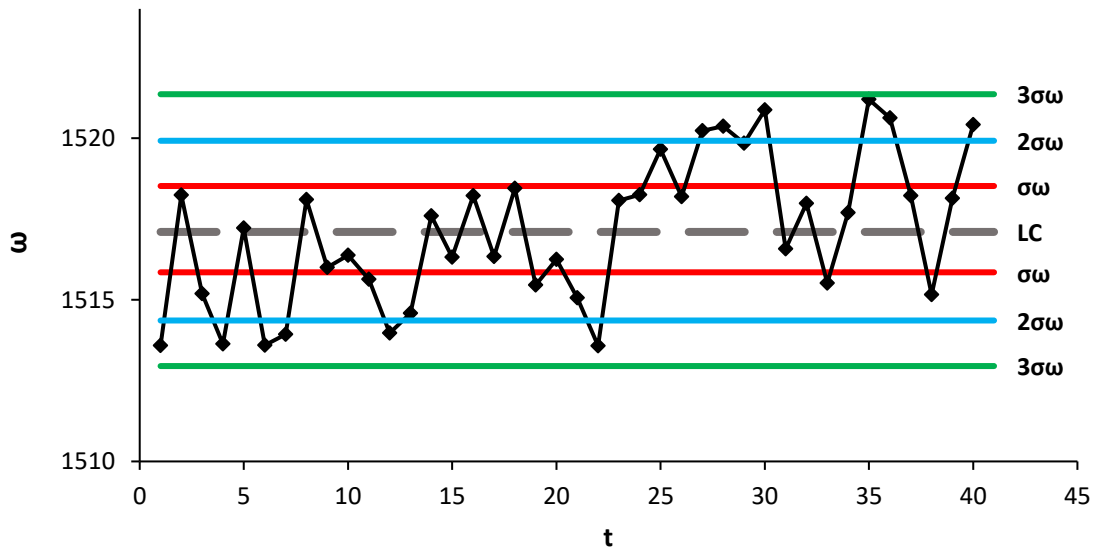


Figura 3.6 apresenta uma carta de controle com os limites a um sigma, dois sigma e três sigma:

$$LSC = \mu_{\omega} + 2\sigma_{\omega} \quad (3.9)$$

$$LC = \mu_{\omega} \quad (3.10)$$

$$LIC = \mu_{\omega} - 2\sigma_{\omega} \quad (3.11)$$

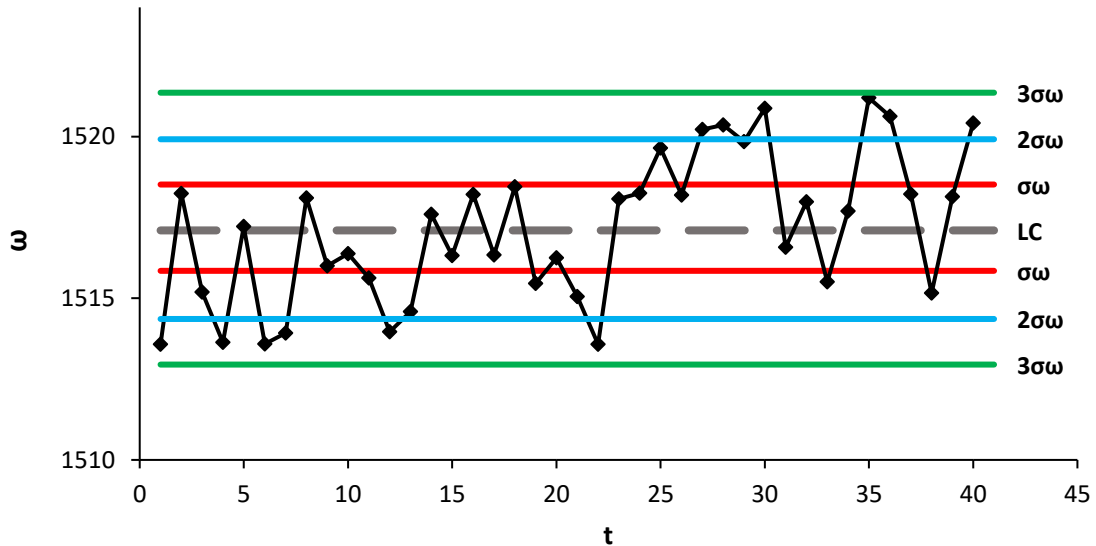


FIGURA 3.6 – REPRESENTAÇÃO DOS LIMITES σ_{ω} , $2\sigma_{\omega}$ E $3\sigma_{\omega}$

Estes limites fazem a partição da carta de controlo em três zonas identificadas por A,B e C de cada lado da linha central zonas essas que serão utilizadas como zonas para a utilização das regras a utilizar na análise das cartas de controlo tal como apresentado em 3.5.5.

3.5.3. APLICAÇÃO DAS CARTAS – FASE 1 E FASE 2

Na construção de uma carta de controlo é importante e útil distinguir as duas fases de implementação e construção. Na Fase 1, analisa-se um conjunto de dados do processo de forma retrospectiva, com o objetivo de entender a variação do processo ao longo do tempo, avaliar a estabilidade do processo e modelar o desempenho do processo sob controlo. Este último passo é geralmente realizado pela estimativa dos parâmetros de um modelo paramétrico e a Fase 2, em que os parâmetros do processo já foram estimados anteriormente é usada de seguida. A Fase 1 corresponde assim a um controlo retrospectivo do processo onde se calculam os limites de controlo experimentais enquanto que a Fase 2 diz respeito à monitorização do processo propriamente dita (Woodall et al., 2004).

A Fase 2 inicia-se após a recolha de um conjunto de dados do processo sob condições estáveis e representativas do desempenho do processo sob controlo. Na Fase 2, utiliza-se uma carta de controlo para monitorizar o processo, comparando a estatística amostral para cada amostra sucessiva, à medida que ela é extraída do processo, com os limites de controlo (Montgomery, 2005).

Na Fase 1, as etapas a seguir para a construção das cartas de controlo são as seguinte (Doty, 1996):

1. Seleção da característica da qualidade;
2. Desenvolvimento do plano de qualidade, com o método e equipamento de medição;
3. Seleção do tipo de carta de controlo – se por atributos ou variáveis;
4. Seleção da carta de controlo;
5. Definição da frequência da amostragem;
6. Definição da dimensão da amostra;
7. Definição dos métodos de recolha de dados e construção das folhas para registo;
8. Determinação dos limites de controlo e da linha central;
9. Detetar a presença de causas especiais de variação e eliminar essas causas.
10. Evidência de processo sob controlo estatístico.

É fundamental efetuar a avaliação do processo e verificar se este se encontra sob controlo estatístico. Caso contrário, é necessário determinar os limites de controlo e a linha central para as cartas revistas, após eliminação das causas especiais. Quando se verificar a estabilidade do processo, pode-se estudar a capacidade do processo. A verificação da estabilidade do processo é um dos grandes objetivos da Fase 1 do *SPC*. Um outro objetivo de extrema importância, consequência da concretização do anterior, é a estimação da média e da variância do processo. Com as estimativas dos parâmetros do processo, é possível, então, verificar se todas as unidades produzidas satisfazem as especificações técnicas.

Quanto à Fase 2 as etapas são (Pereira & Requeijo, 2008):

1. Representar no gráfico de controlo o LIC, LC e LSC definidos na Fase 1 (limites de controlo experimentais ou limites de controlo revistos)
2. Recolher a amostra i , determinar a estatística ω_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 fora de controlo, identificar a causa e implementar ações corretivas;
5. Recolher a amostra $i + 1$, calcular ω_{i+1} , representando no gráfico o respetivo valor;
6. Proceder sequencialmente de acordo com os pontos 3, 4 e 5.

3.5.4. DIMENSÃO DAS AMOSTRAS E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

Ao construir uma carta de controlo é importante especificar a dimensão da amostra e a frequência da amostragem. A seleção da dimensão da amostra deve considerar a ordem de grandeza da alteração que se pretende detetar. À medida que a dimensão da amostra aumenta, mais fácil é detetar a ocorrência de pequenas alterações do processo, o mesmo acontece relativamente à frequência de amostragem. Quando as alterações do processo são substanciais, pode recorrer-se a amostras com dimensões mais reduzidas.

É importante sempre que possível, aumentar a dimensão da amostra, pois permite melhorar a sensibilidade das cartas de controlo de Shewhart em detetar alterações pequenas ou moderadas nos parâmetros do processo. Se existir uma ideia previa do grau de desvios a detetar tal facilita a seleção de

uma dimensão amostral apropriada. Se pequenos desvios puderem ser tolerados será suficiente a seleção de amostras de dimensão reduzida. Na frequência de amostragem, as amostras devem ser recolhidas o número suficiente de vezes, e a intervalos apropriados, para que sejam representativas de eventuais alterações do processo provocados por causas especiais. Numa fase inicial de um estudo processo, normalmente retiraram-se amostras frequentemente, a intervalos curtos e regulares, para se detetar se o processo altera muitas vezes ou se, pelo contrário, se mantém estável durante intervalos de tempo consideráveis. A frequência pode diminuir quando se verifica que o processo e mantém estável ou quando se introduzem modificações destinadas a melhorar o desempenho do processo. A frequência de amostragem é estabelecida antes da construção das cartas de controlo e apesar da escolha de grandes dimensões amostrais com frequência elevada ser a situação que fornece mais informação esta não é a prática mais utilizada uma vez que requer mais recursos e é mais dispendiosa. O procedimento usual passa normalmente por selecionar amostras de dimensão mais reduzida com maiores frequências de amostragem ou selecionar grandes dimensões amostrais com frequências mais reduzidas sendo a primeira abordagem normalmente a mais utilizada (Amitava Mitra, 2012).

3.5.5. REGRAS PARA DETEÇÃO DE CAUSAS ASSINALÁVEIS

Uma carta de controlo pode indicar uma condição fora de controlo quando um ou mais pontos estão fora dos limites controlo ou quando os pontos exibem algum padrão de comportamento não aleatório. Quando um processo está sob controlo estatístico o padrão segundo o qual se dispõem os pontos numa carta de controlo deve ser perfeitamente aleatório sendo que a presença de um comportamento sistemático indicia a existência de causas especiais de variação (Montgomery, 2005).

Para verificar a existência de uma causa especial de variação, é necessário verificar se existe um ponto fora dos limites a três sigma, como referido, ou se os pontos da carta formam algum tipo de padrão, verificando-se a não aleatoriedade dos dados, entre outros. Assim, serão adotadas um conjunto de regras para deteção de causas especiais de variação, que indicam a ocorrência de uma situação fora de controlo estatístico. Para aplicação das regras é necessário dividir o intervalo compreendido entre os LSC e LIC em seis zonas iguais. Cada zona tem uma largura equivalente a $1\sigma_w$ e são designadas como A, B e C, tal como anteriormente referido (Nelson, 1985) (Nelson, 2018) (Electric, 1965).

Segundo a norma ISO 7870-2: 2013 consideram-se um conjunto de 8 regras para detetar causas especiais de variação (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 - REGRAS PARA DETEÇÃO DE PADRÕES NÃO ALEATÓRIOS

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

De seguida, apresenta-se os alguns padrões representativos de cada regra na Figura 3.7.

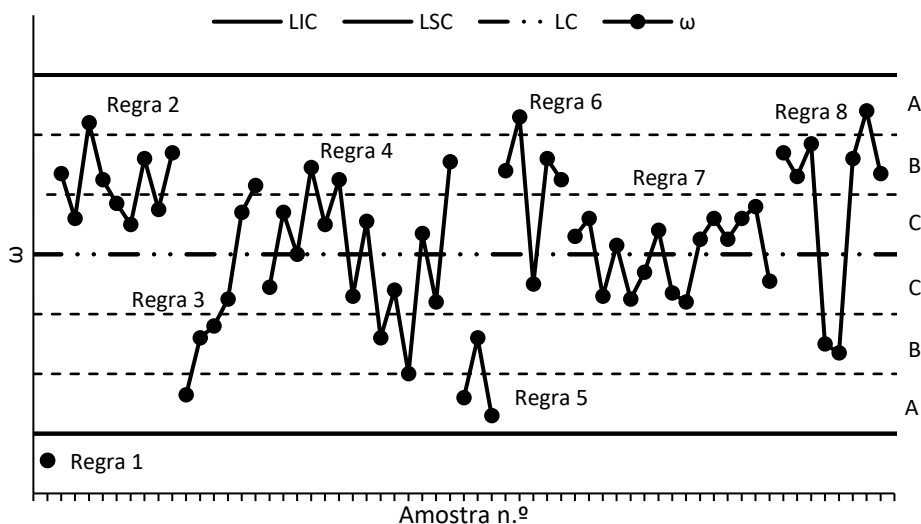


FIGURA 3.7 - PADRÕES REPRESENTATIVOS DE CADA REGRA (ADAPTADO DE NELSON, 2018)

O objetivo da utilização das regras consiste em aumentar a sensibilidade das cartas de controlo. No entanto, é preciso ter algum cuidado ao utilizar um conjunto de regras, visto que pode ocorrer um número excessivo de falsos alarmes. Quanto maior o número de regras a utilizar maior serão o número de falsos alarmes (Montgomery, 2005). A utilização de um numero excessivo de regras leva ao aumento da complexidade prejudicando a utilização das cartas de controlo uma vez que leva à perda da simplicidade implícita nas cartas de controlo; O aumento da complexidade provocada pela utilização de um número excessivo de regras levaria as cartas a assinalar muitas vezes situações de falsos alarmes e tal poderia comprometer totalmente um programa de SPC o que seria de todo indesejável.

3.6. TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO UNIVARIADO

Os fundamentos básicos do SPC, e das cartas de controlo, foram propostos por Walter Shewhart na década de 1920 e 1930 (Woodall, Montgomery, Woodall, & Montgomery, 2018).

Shewhart distingue dois grandes grupos de cartas de controlo: As cartas por variáveis e as cartas por atributos, dependendo do tipo de variável em estudo. As diferentes características dos tipos de cartas comuns mais utilizadas estão descritas na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO POR VARIÁVEIS

	Carta de Controlo por Variáveis	Carta de Controlo por Atributos
Tipo de carta	<p>Carta \bar{X} e Carta R – Médias e Amplitudes</p> <p>Carta \bar{X} e Carta S – Médias e Desvio-padrão</p> <p>Carta \bar{X} e Carta R – Mediana e Amplitude</p> <p>Carta \bar{X} e Carta MR – observações individuais e Amplitudes móveis</p>	<p>Carta p – proporção de unidades não conformes</p> <p>Carta np – número de unidades não conformes</p> <p>Carta c – número de não conformidade (ou numero de defeitos)</p> <p>Carta u – número de não conformidades por unidade (ou número de defeitos por unidade) de não conformidades detetadas</p>

Numa carta de controlo por atributos, as características da qualidade a serem medidas tomam valores discretos, ou seja, apenas se constrói uma carta de controlo porque o desvio padrão depende somente da média e da dimensão da amostra. Na carta de controlo por variáveis as características da qualidade a serem medidas são expressas numa escala contínua, deste modo é necessário construir duas cartas de controlo, uma para controlar os parâmetros de dispersão, e a segunda para controlar os parâmetros de localização (Montgomery, 2005).

Na aplicação das cartas de controlo, é necessário observar os dados de um processo ao longo do tempo, ou seja, é necessário tomar decisões sobre as variáveis a serem medidas, o tamanho da amostra, a frequência da amostragem e a delimitação dos limites (Woodall et al., 2018).

As cartas de controlo não têm como principal objetivo verificar o cumprimento dos limites de especificação, se bem que o cumprimento das especificações seja um objetivo a alcançar. Um processo “sob controlo” não significa que esteja de acordo com as especificações, bem como, processo “fora de controlo” não significa que este se encontre fora das especificações. No entanto é necessário que o processo seja estável e previsível (i.e. se encontre sob controlo estatístico) para se poder efetuar estudos de capacidade do processo e verificar se este é capaz de cumprir com as especificações pretendidas.

No desenvolvimento deste trabalho vão-se aplicar as cartas de controlo por variáveis, uma vez que todas as características da qualidade em estudo vão ser medidas em escala continua.

No trabalho desenvolvido foram utilizadas cartas de controlo de variáveis mais concretamente as cartas de controlo \bar{X} e R. A seleção deste tipo de cartas foi feita de acordo com a Figura 3.8 onde se apresenta um diagrama que descreve a escolha do tipo de carta de controlo a utilizar consoante a variável em estudo é discreta ou contínua. Para a situação de controlo por variáveis a dimensão da amostra distingue o tipo de carta a utilizar. Quando a dimensão amostral é de uma unidade utilizam-se as cartas de observações individuais (i.e. carta X) e amplitudes móveis (i.e. carta MR), sendo que para dimensões tipicamente de 4 ou 5 unidades é comum trabalhar com cartas de médias e de amplitudes. A partir de uma dimensão amostral de 10 unidades as cartas a utilizar são tipicamente cartas de médias e desvio padrão uma vez que a amplitude perde eficiência estatística para amostras de dimensão elevada.

Neste trabalho também foram utilizadas as cartas de controlo do tipo \bar{X} e MR, uma vez que existem situações nas quais a amostra é formada por uma única observação individual, ou seja, $n = 1$.

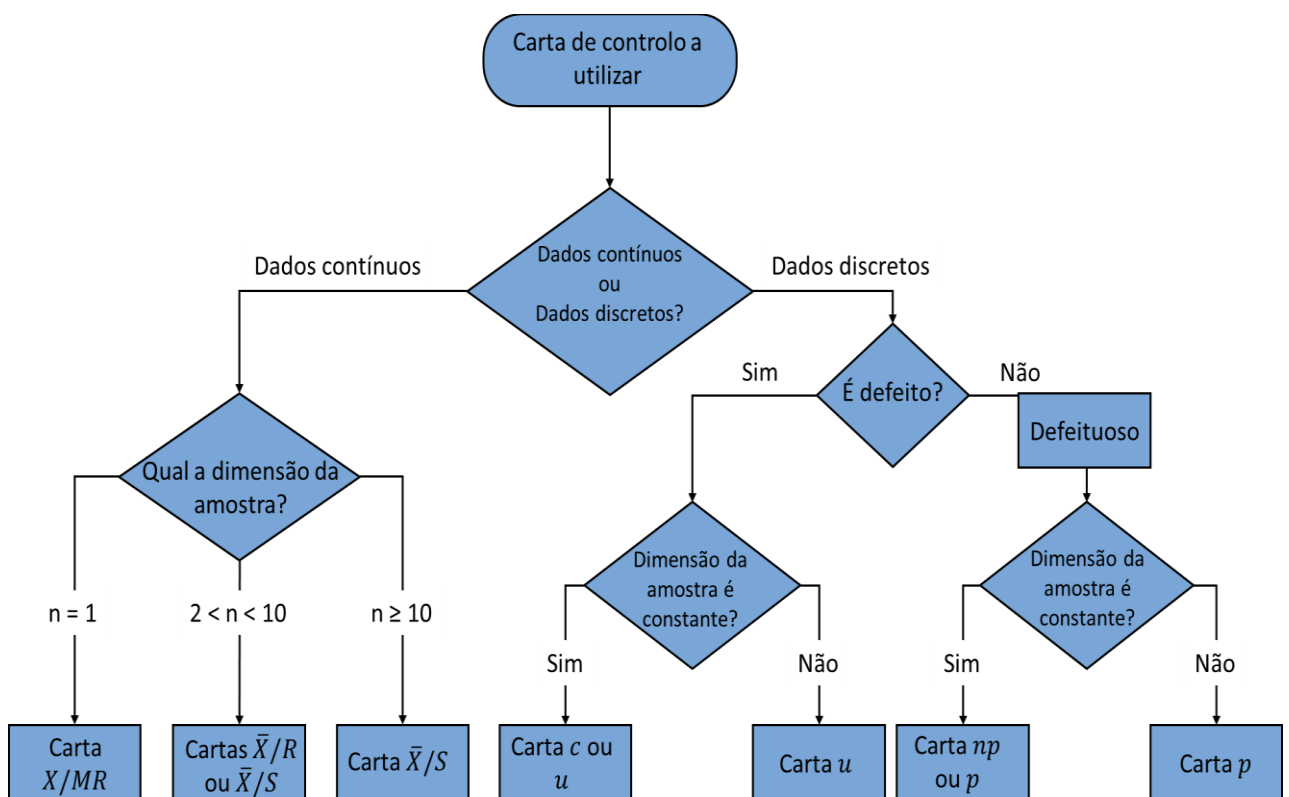


FIGURA 3.8 – FLUXOGRAMA PARA SELEÇÃO DO TIPO DE CARTA DE CONTROLO A UTILIZAR

Vários autores estudaram o efeito da normalidade nas cartas de controlo. Burr (1967) salienta que as constantes usuais dos limites de controlo baseados na teoria da normalidade são muito robustas em relação à hipótese da normalidade e podem ser implementadas, a menos que a população seja extremamente não se afaste de forma considerável da normalidade. Outros autores como Schilling e Nelson (1976), Chan, Hapuarachchi e Macpherson (1988) e Yourstone e Zimmer (1992) também estudaram o efeito da não normalidade nos limites de controlo numa carta de controlo \bar{X} . Schilling e

Nelson investigaram as distribuições uniformes, triangular direita (com $\lambda = 1$ e $r = \frac{1}{2}, 1, 2, 3$ e 4) e duas distribuições bimodais formadas como misturas de duas distribuições normais. O estudo indica que, na maioria dos casos, tamanhos de amostra de 4 ou 5 são suficientes para garantir a robustez razoável com relação à hipótese da normalidade. Geralmente a dimensão das amostras utilizadas no controlo de variáveis contínuas é relativamente pequena, sendo que no caso de controlo de médias e amplitudes é habitual a utilização de 4 ou 5 unidades. Isto acontece porque o Teorema do Limite Central define que a distribuição das médias segue uma distribuição aproximadamente normal para amostras com dimensão igual ou superior a 4, mesmo que os seus valores individuais não sigam este tipo de distribuição.

Se x_1, x_2, \dots, x_n são variáveis aleatórias independentes com média μ_i e variância σ_i^2 e se $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, então a distribuição de 3.2 se aproxima da distribuição $N(0; 1)$ à medida que n tende a infinito.

$$\frac{y - \sum_{i=1}^n \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}} \quad (3.12)$$

O teorema do limite central estabelece que a distribuição da soma de n variáveis aleatórias independentes é aproximadamente normal, independentemente das distribuições individuais das variáveis. A aproximação melhora à medida que n aumenta. A aproximação será boa, mesmo para valores pequenos de n ($n < 10$), enquanto, em outras situações, pode ser necessário n grande ($n > 100$), para se obter uma aproximação. Se as x_i são identicamente distribuídas e a distribuição de cada x_i não se afasta drasticamente da distribuição normal, deste modo o teorema do limite central é exequível para $n \geq 3$ ou 4 .

3.6.1. CARTA DE CONTROLO DE VARIÁVEIS FASE 1 E FASE 2

As cartas de controlo por variáveis são utilizadas para a monitorização, tanto do valor médio da característica da qualidade, como da variabilidade do processo.

Devem-se utilizar as cartas de controlo por variáveis, quando o controlo das características mensuráveis numa escala contínua é economicamente viável. Sempre que se aplica estas cartas tem de ser respeitado os pressupostos de normalidade e independência dos dados.

O controlo do valor médio é realizado através do cálculo de uma carta de controlo de médias (\bar{X}). A monitorização da variabilidade do processo é feita através de uma carta de controlo de S (Desvio-padrão) ou R (Amplitudes) (Amit Mitra, 2002) (Montgomery, 2005).

- **Cartas \bar{X} e R**

No cálculo dos limites de controlo na Fase 1 e para estimar os parâmetros do processo é recomendável que se tenha 20 a 25 amostras de dimensão n , entre 3 e 5 (Montgomery, 2005). Quesenberry (1997) estabelece uma relação entre o número de amostras e a dimensão da amostra de acordo com a equação 3.13.

$$n \geq \frac{400}{n-1} \quad (3.13)$$

Assim, garante que os limites de controlo determinados são bons estimadores dos verdadeiros limites de controlo, recomendando $N = 300$ para o caso de se recorrer a observações individuais (Quesenberry, 1997).

Se x_1, x_2, \dots, x_n , é uma amostra de tamanho n , então a média da amostra é calculada de acordo com a equação 3.14.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.14)$$

A \bar{X} é utilizada como linha central na carta de controlo das médias. No cálculo dos limites de controlo superior (LSC) e inferior (LIC) é necessário estimar as Amplitudes (R). Se x_1, x_2, \dots, x_n representam uma amostra de dimensão n , então a amplitude da amostra n é a diferença entre o máximo (n) e o mínimo (n) dos valores observados. É calculada de acordo com a equação 3.15.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3.15)$$

Se R_1, R_2, \dots, R_m forem as amplitudes das m amostras, então a amplitude média do processo é calculada segundo a equação 3.16.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (3.16)$$

Os limites de controlo superior (LSC), inferior de controlo (LIC) e linha central (LC) da carta \bar{X} podem ser construídos com base nas equações 3.17, 3.18 e 3.19.

$$LSC = \bar{x} + A_2\bar{R} \quad (3.17)$$

$$LC = \bar{x} \quad (3.18)$$

$$LIC = \bar{x} - A_2\bar{R} \quad (3.19)$$

A variabilidade do processo pode ser monitorizada através dos valores de amplitudes. A linha central e os limites de controlo para a carta das amplitudes podem ser construídos com base nas equações 3.20, 3.21 e 3.22:

$$LSC = D4\bar{R} \quad (3.20)$$

$$LC = \bar{R} \quad (3.21)$$

$$LIC = D3\bar{R} \quad (3.22)$$

As constantes A_2 , D_3 e D_4 são dependentes da dimensão da amostra e encontram-se tabeladas no Anexo I. De seguida apresentam-se os estimadores dos parâmetros do processo, quando o processo se encontre sob controlo estatístico, nas equações 3.23 e 3.24.

$$\hat{\mu} = \bar{X} \quad (3.23)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (3.24)$$

- **Cartas X e MR**

Quando uma amostra é constituída por uma única observação, $n=1$, recorre-se à construção da carta das observações individuais X , para controlar a localização do processo. Esta carta é composta pelas observações individuais registadas para cada instante i . Para controlar a dispersão do processo é utilizada a carta das amplitudes móveis, MR . A carta MR é construída recorrendo a duas observações consecutivas, através das quais é calculada a amplitude móvel pela equação 3.25.

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (3.25)$$

Os limites de controlo superior (LSC), inferior de controlo (LIC) e linha central (LC) da carta \bar{X} podem ser construídos com base nas equações 3.26, 3.27 e 3.28.

$$LSC = \bar{X} + \frac{3 \times \overline{MR}}{d_2} \quad (3.26)$$

$$LC = \bar{X} \quad (3.27)$$

$$LIC = \bar{X} - \frac{3 \times \overline{MR}}{d_2} \quad (3.28)$$

A variabilidade do processo pode ser monitorizada através dos valores de amplitudes móveis. A linha central e os limites de controlo para a carta das amplitudes podem ser construídos com base nas seguintes equações 3.29, 3.30 e 3.31.

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (3.29)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (3.30)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (3.31)$$

As constantes d_2 , D_3 e D_4 são dependentes da dimensão da amostra e encontram-se tabeladas no Anexo I. Na equação 3.32 e 3.33 apresentam-se os estimadores do parâmetro do processo, desde que o processo se encontre sob controlo estatístico, no final na Fase 1.

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} \quad (3.32)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3.33)$$

Para dar início à Fase 2 do controlo estatístico univariado é preciso garantir que o processo se encontre sob controlo estatístico e que estejam estimados os parâmetros do processo. Se a dimensão das amostras na Fase 2 for igual à realizada na Fase 1, é possível manter os limites calculados na Fase 1, caso contrário é necessário calcular os limites de controlo para a Fase 2 em função de μ e σ (Deitenbeck, 1995) (Montgomery, 2005).

Quando os parâmetros do processo μ e σ são conhecidos, como acontece na Fase II do SPC onde os parâmetros foram determinados na Fase I, utiliza-se as equações da Tabela 3.3 para cálculo dos limites

As constantes d_2 , D_1 e D_2 são dependentes da dimensão da amostra e encontram-se tabeladas no Anexo I.

TABELA 3.3 - LIMITES CONTROLO DE SHEWART NA FASE 2 DO CONTROLO ESTATÍSTICO PARA CARTAS COM PARÂMETROS CONHECIDOS

Tipo carta	Fórmula cálculo limites de controlo
Carta de Médias, \bar{X}	$LIC = \mu - A\sigma$ $LC = \mu$ $LSC = \mu + A\sigma$

Carta de Amplitudes, R	$LIC = D_1\sigma$ $LC = d_2\sigma$ $LSC = D_2\sigma$
Carta observações individuais, X	$LIC = \mu - 3\sigma$ $LC = \mu$ $LSC = \mu + 3\sigma$
Carta Amplitudes móveis, MR	$LIC = D_1\sigma$ $LC = d_2\sigma$ $LSC = D_2\sigma$

Para aplicação das cartas de controlo é importante garantir que os dados sejam identicamente distribuídos segundo uma distribuição normal.

Para verificar a Normalidade dos dados da variável X requer a aplicação do teste de Kolmorov-Smirnov (K-S), ou o teorema do limite central no caso da utilização das cartas de controlo \bar{X}/R . Este teste é o mais potente, ou seja, devido ao facto de ser independentemente do número de classes considerado.

3.7. PRESSUPOSTOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO

Para construção das cartas de controlo é necessário a verificação de vários pressupostos relativamente aos dados, tais como a independência das observações, a aleatoriedade das observações e a Normalidade das observações, ou seja, para que as conclusões provenientes do estudo das cartas de controlo sejam fiáveis, os dados da característica considerada devem ser aleatórios, independentes, e devem seguir uma distribuição Normal com média μ e variância σ^2 . Seguidamente serão abordados métodos que permitem a confirmação dos pressupostos necessários à boa implementação das cartas de controlo.

3.7.1. INDEPENDÊNCIA DAS OBSERVAÇÕES

Os dados são independentes quando não existe autocorrelação significativa entre os mesmos, ou seja, o valor que a variável respeitante à característica da qualidade toma em determinado instante t não depende nem do seu valor no instante anterior ($t - 1$), nem do seu valor em qualquer instante desfasado de k instantes ($t - k$). É possível verificar este pressuposto através da aplicação da Função de Autocorrelação (FAC) e da Função de Autocorrelação Parcial (FACP) (Pereira & Requeijo, 2008).

3.7.2. NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES

No presente trabalho a medição da normalidade foi através do método gráfico da probabilidade. O método gráfico é uma técnica utilizada para verificar a adequação de um determinado modelo estatístico aos dados. Vamos considerar o modelo Normal com média μ e variância σ^2 . Para maiores informações sobre a distribuição normal consultar o Montgomery. Se $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, a transformação em distribuição normal padrão (média zero e variância 1).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (3.34)$$

A normalidade dos dados está relacionada com a linearidade do gráfico, quanto "mais linear" for o gráfico melhor a normalidade dos dados, e se os pontos estiverem perto da linha é um bom indicativo de normalidade.

Se os dados amostrais seguirem uma distribuição aproximadamente normal, para determinado nível de significância alfa, conclui-se também através de inferência estatística que a população de onde foram retiradas as amostras também é Normal. Se, por sua vez, os dados amostrais não seguirem uma distribuição Normal, pode concluir-se que a população à qual os dados amostrais pertencem também não é normal. Neste caso a abordagem ao SPC deve ser alterada, sendo que possíveis abordagens serão (Pereira & Requeijo, 2008):

- Caracterização, através dos dados disponíveis, da distribuição da característica da Qualidade;
- Transformação dos dados, de modo a obter-se uma variável normalmente distribuída;
- Utilização do Método da Variância Ponderada para distribuições assimétricas.

3.7.3. ALEATORIEDADE DAS OBSERVAÇÕES

Podem existir diversas origens para que os dados não verifiquem aleatoriedade, tais como, a mistura de populações diferentes e a correlação entre observações consecutivas ou desfasadas no tempo. Existem alguns métodos que permitem verificar a aleatoriedade ou não dos dados, sendo que os métodos mais relevantes e usualmente utilizados são o Teste das Sequências, o Teste das Sequências Ascendentes e Descendentes e o Teste Modificado do Quadrado Médio das Diferenças Sucessivas (Pereira & Requeijo, 2008).

3.8. CAPACIDADE DO PROCESSO

Ao planificar os aspetos da qualidade em determinado processo, nada é mais importante do que assegurar que o processo vai ser capaz de continuar dentro das tolerâncias. Surge assim o conceito de capacidade do processo (Juran & Godfrey, 1998).

A capacidade do processo reflete a variação do processo devido a causas comuns de variação e a sua análise consiste na comparação da distribuição de determinada característica do produto com as especificações previamente estabelecidas (Pereira & Requeijo, 2008).

O objetivo da análise da capacidade ou desempenho do processo consiste em verificar e diagnosticar se este é ou não capaz de cumprir com as especificações estabelecida para o produto, mas apenas pode ser estimada quando o processo se encontra sob controlo estatístico, ou seja tem um comportamento previsível caracterizado por uma distribuição. A capacidade do processo reflete a variação devida a causas comuns de variação.

A análise da capacidade do processo consiste em comparar a distribuição de uma determinada característica do produto com as especificações previamente estabelecidas. A melhoria do processo é o primeiro objetivo do controlo estatístico do processo.

A análise da capacidade do processo é parte vital de qualquer programa que tenha como objetivo a melhoria global da qualidade, permitindo (Montgomery, 2005):

- Prever a capacidade do processo em produzir de acordo com as especificações.
- Auxiliar os responsáveis pela conceção e desenvolvimento de produtos na seleção ou modificação de um processo.
- Ajudar na escolha dos intervalos entre amostras na monitorização do processo.
- Especificar os requisitos de desempenho para novos equipamentos.
- Selecionar fornecedores e outros aspetos da gestão da cadeia de abastecimento.
- Planear a sequência de processos de produção quando existem efeitos de interação dos processos nas tolerâncias.
- Reduzir a variação do processo.

A análise da capacidade do processo tem aplicação nos mais diversos segmentos do ciclo do produto, tais como, desenho do produto e do processo, gestão da cadeia de abastecimento, planeamento da produção ou da manufatura. Para analisar a capacidade do processo as técnicas mais utilizadas são: histogramas, cartas de controlo e desenho de experiências (Montgomery, 2005).

3.8.1. ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO CP

O estudo da capacidade do processo permite saber se este é capaz de produzir de acordo com as especificações técnicas do produto estabelecidas, tendo em conta a variação causada por causas comuns de variação.

O índice C_p representa a capacidade inerente do processo, ou seja, a razão entre a especificação para a característica da qualidade/parâmetro do processo e a variabilidade desse mesmo processo (Parlar & Wesolowsky, 1999). A característica da qualidade medida tem de seguir uma distribuição Normal, permitindo estimar a proporção de produto não conforme.

O índice de capacidade potencial do processo é uma medida de desempenho do processo que determina o que pode ser esperado para o processo em relação às especificações. Podem ser estabelecidos apenas para um processo estável e previsível. O índice para especificação bilateral é calculado segundo a equação 3.35.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} \quad (3.35)$$

Em que LSE é o Limite Superior de Especificação, o LIE é o Limite Inferior de Especificação e σ é o desvio-padrão do processo. Estes índices de capacidade somente têm em consideração a variabilidade do processo não tendo contudo em atenção os desvios que possam ocorrer no processo em relação ao valor alvo.

Considerar-se que a variação aceitável para um processo é igual a 6σ , significa que 99,73% dos valores de uma determinada característica da qualidade estão naturalmente compreendidos entre $\mu \pm 3 \sigma$, em que μ é a média do processo (Álvarez, Moya-Férrandez, Blanco-Encomienda, & Muñoz, 2015).

Devido às limitações do C_p surgiram os índices de segunda geração C_{pm} e C_{pk} . O índice C_{pk} , tem em consideração o parâmetro de localização do processo sendo obtido através da equação (3.35), que compara os de $(C_{pk})_I$ e $(C_{pk})_S$, definidos pelas equações 3.36 e 3.37 (Kotz & Johnson, 2017).

O índice C_{pk} representa a proximidade da distribuição do limite mais próximo da especificação, e é possível visualizar se o processo está descentrado para o limite inferior ou superior. No cálculo deste último indicador devem ser consideradas as seguintes situações e fórmulas de cálculo:

$$C_{pk} = \min(C_{pk})_I, (C_{pk})_S \quad (3.36)$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3 \sigma} \quad (3.37)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3 \sigma} \quad (3.38)$$

As equações 3.37 e 3.38 assumem que o processo tem limite superior e limite inferior de especificação. No entanto para especificações unilaterais (i.e. para características do tipo “menor melhor” ou “maior melhor”) os índices de capacidade são representados de acordo com as equações 3.39 e 3.40.

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3.39)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (3.40)$$

Para especificações unilaterais:

- Se a característica da qualidade for do tipo quanto maior melhor, então $C_{pk} = (C_{pk})_i$;
- Se a característica for do tipo quanto menor melhor, tem-se que $C_{pk} = (C_{pk})_s$;
- O processo é considerado capaz se $C_{pk} \geq 1,25$.

Para especificações bilaterais:

- Processo capaz, quando $C_{pk} \geq 1,33$, sendo que em ambos as situações, o C_{pk} deve assumir valores o mais elevado possível de forma garantir uma menor variabilidade do processo;
- Processo marginalmente capaz, quando $C_{pk} < 1$, no entanto se $C_{pk} \geq 1$ o processo é capaz;
- Para especificações bilaterais o processo encontra-se perfeitamente centrado quando $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S = C_p$.

Considera-se em geral, que $C_p = 1,33$ é um valor aceitável para processos ou máquinas existentes quando a especificação é bilateral. No entanto, um bom desempenho do processo implica que a variabilidade seja bastante reduzida, ou seja, que a capacidade do processo seja a mais alta possível. A metodologia 6σ exige que a capacidade seja pelo menos igual a 2,0.

Quanto maiores forem os valores do C_p , maior a capacidade potencial do processo e quanto maior o valor de C_{pk} , mais capaz é o processo. A Tabela 3.4 apresenta os valores mínimos recomendados para os índices de capacidade do processo.

TABELA 3.4 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE CP E CPK (MONTGOMERY, 2005)

	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

O índice de capacidade potencial do processo não tem em consideração a localização da média do processo em relação aos valores de especificação. O índice de capacidade potencial C_p somente avalia o intervalo de especificação (diferença entre o LSE e LIE) em relação à variação seis sigma característica do processo. Um processo centrado apresenta um $C_p = C_{pk}$. Já um processo descentrado apresenta um valor de C_{pk} inferior ao valor de C_p sendo neste caso a capacidade do processo obtida pelo valor de C_{pk} .

3.9. REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE

Um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) avalia a variação de um sistema de medição e ajuda a concluir se o sistema de medição é adequado para a aplicação pretendida. Um sistema de medição corresponde ao conjunto de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, ambiente e premissas utilizadas para quantificar a unidade de medição, ou seja, o processo completo para obter medições.

É importante que a variabilidade do sistema de medição seja pequena quando comparada com a variabilidade total do processo e/ou com as especificações.

A Reprodutibilidade consiste na variação das medidas obtidas por diferentes operadores utilizando o mesmo equipamento de medição para medir repetidamente uma mesma grandeza de uma única peça (i.e. objeto de prova). A reprodutibilidade dos operadores será tanto maior quanto menores forem as diferenças entre as médias das medidas feitas por eles nos mesmos itens.

A Repetibilidade é a variação das medidas obtidas por um único operador, utilizando o mesmo equipamento de medição e método, ao medir repetidas vezes uma mesma grandeza de uma única peça (i.e. objeto de prova). Para medir a repetibilidade, calcula-se o desvio-padrão das medidas. O sistema de medição terá maior repetibilidade, quanto menor for o desvio-padrão.

O estudo R&R é indicado para estudar os componentes principais do erro de medição que são a repetibilidade e a reprodutibilidade. Pode-se comparar a variabilidade do sistema de medição (R&R) com a variação esperada do processo de produção e também se pode comparar a variabilidade (R&R) com a tolerância do produto. Espera-se que a variação R&R seja de muito menor magnitude. A variância do erro

de medição é a soma da variância relativa à repetibilidade com a variância relativa à reprodutibilidade, conforme equação 3.41.

$$\sigma_{\text{erro de medição}}^2 = \sigma_{\text{Repetibilidade}}^2 + \sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2 \quad (3.41)$$

Onde:

$$\sigma_{\text{Repetibilidade}}^2 = MQ_E = \sigma^2, \quad (3.42)$$

$$\sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2 = \sigma_{\text{operador}}^2 + \sigma_{\text{produto} \times \text{operador}}^2 \quad (3.43)$$

Considera-se o sistema de medição aceitável segundo a equação 3.44.

$$\frac{\sigma_{\text{erro de medição}}}{\sigma_{\text{total}}} < 10\% \quad (3.44)$$

Se $\frac{\sigma_{\text{erro de medição}}}{\sigma_{\text{total}}} > 10\%$, então:

[1] – Se $\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} > 10\%$, é necessário trocar o instrumento (sistema) de medição;

[2] - Se $\frac{\sigma_{\text{reprodutibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} > 10\%$, é necessário treinar/ formar os operadores;

Tanto a repetibilidade como a reprodutibilidade são de extrema importância no desempenho dos processos produtivos. Com efeito, se a variação do sistema de medição for elevada e se não for do conhecimento dos intervenientes do processo, pode concluir-se, erradamente, que o processo não é capaz, quando o problema afinal reside no próprio sistema de medição.

O método mais usual para determinar a repetibilidade e a reprodutibilidade é a análise de variância (ANOVA). Assim, será apresentado o método de ANOVA como ferramenta para se avaliar essas componentes de variância.

Considerando que há a produtos selecionados aleatoriamente e b operadores também selecionados aleatoriamente, e que cada operador mede cada produto n vezes. Nessa situação, as medidas podem ser descritas pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \forall i = 1, 2, \dots, a, j = 1, 2, \dots, b \text{ e } k = 1, 2, \dots, n \quad (3.45)$$

Onde:

Y_{ijk} = variável aleatória que denota a ijk -ésima medida;

μ = média global;

τ_i = variável aleatória que mede o efeito do i -ésimo produto na medição;

β_j = variável aleatória que mede o efeito do j -ésimo operador no sistema de medição;

$(\tau\beta)_{ij}$ = variável aleatória que mede o efeito da ij -ésima interação entre produto e operador;

ε_{ijk} = componente de erro aleatório.

$\tau_i, \beta_j, (\tau\beta)_{ij}$ e ε_{ijk} são independentes entre si.

Agora, se a variância dos efeitos dos tratamentos τ_i, β_j e $(\tau\beta)_{ij}$ forem $\sigma_\tau^2, \sigma_\beta^2$ e $\sigma_{\tau\beta}^2$, respectivamente temos:

$$V(Y_{ijk}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\tau\beta}^2 + \sigma^2, \forall i = 1, 2, \dots, a, j = 1, 2, \dots, b \text{ e } k = 1, 2, \dots, n \quad (3.46)$$

As variâncias $\sigma_\tau^2, \sigma_\beta^2, \sigma_{\tau\beta}^2$ e σ^2 , são chamadas de componentes da variância, e o modelo 3.47 é chamado de Modelo de Componentes de Variância para Sistemas de Medição (ou Modelo de Efeitos Aleatórios para Sistemas de Medição).

Considerando que os erros aleatórios $\varepsilon_{ijk} \sim NID(0, \sigma^2)$ e que $\tau_i \sim NID(0, \sigma_\tau^2), \beta_j \sim NID(0, \sigma_\beta^2)$ e $(\tau\beta)_{ij} \sim NID(0, \sigma_{\tau\beta}^2)$, então:

$$Y_{ijk} \sim N(\mu, \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\tau\beta}^2 + \sigma^2) \quad (3.47)$$

Onde: $\hat{\mu} = \bar{y}$

A aleatoriedade necessária faz com que este também seja classificado como um Planejamento Completamente Aleatorizado.

A ANOVA divide a variabilidade total dos dados em quatro componentes, conforme a equação 3.48:

$$SQ_T = SQ_{produtos} + SQ_{operadores} + SQ_{produtos \times operadores} + SQ_E \quad (3.48)$$

Os componentes de variância podem ser estimados igualando-se as médias quadráticas calculadas aos seus respectivos valores esperados. Assim, teremos as equações 3.49, 3.50, 3.51 e 3.52:

$$\hat{\sigma}^2 = MQ_E \quad (3.49)$$

$$\hat{\sigma}_{\tau\beta}^2 = \frac{MQ_{produtos \times operadores} - MQ_E}{n} \quad (3.50)$$

$$(3.51)$$

$$\hat{\sigma}_{\beta}^2 = \frac{MQ_{operadores} - MQ_{produtos \times operadores}}{an}$$

$$\hat{\sigma}_{\tau}^2 = \frac{MQ_{produtos} - MQ_{produtos \times operadores}}{bn} \quad (3.52)$$

TABELA 3.5 – ANOVA SISTEMA DE MEDIÇÃO

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F_0	$P - value$
Produtos	$SQ_{prod.}$	$a - 1$	$MQ_{prod.}$	$\frac{MQ_{prod.}}{MQ_{int.}}$	$P (F_{a-1,(a-1)(b-1)} > f_0)$
Operador	$SQ_{oper.}$	$b - 1$	$MQ_{oper.}$	$\frac{MQ_{oper.}}{MQ_{int.}}$	$P (F_{b-1,(a-1)(b-1)} > f_0)$
Interação	$SQ_{int.}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MQ_{int.}$	$\frac{MQ_{int.}}{MQ_E}$	$P (F_{(a-1)(b-1),ab(n-1)} > f_0)$
Erro	SQ_E	$ab(n - 1)$	MQ_E		
Total	SQ_T	$abn - 1$			

3.10. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO PARA “PEQUENAS PRODUÇÕES” – *SHORT RUN*

Num mercado cada vez mais exigente, as organizações têm a necessidade de implementar medidas para minimizarem os custos, de forma a tornarem-se mais competitivas. Uma das estratégias utilizadas passa pela produção em pequenas quantidades, de variados produtos de venda imediata, reduzindo os níveis de stock, considerados pelas organizações um desperdício com elevados custos indesejáveis.

Um sistema produtivo com uma pequena produção é considerado (Pereira & Requeijo, 2008):

- Quando se produz uma quantidade pequena de unidades de cada vez, menos de vinte, com uma nova produção ao fim de determinado tempo suficientemente distante;
- Quando produz uma quantidade suficientemente grande, mais de cem, com nova produção relativamente próxima;
- Quando se produz por lotes específicos ao longo do tempo, em número limitado.

Uma medida a tomar face às pequenas produções, é a construção de cartas de controlo adaptadas a este tipo de produção.

3.10.1. TIPOS DE CARTAS DE CONTROLO E CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

Tal como nas cartas de controlo tradicionais, 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 de variáveis, uma vez que as características em análise são medidas em escalas cardinais.

Tal como nas cartas de controlo tradicionais de Shewhart, os pressupostos de independência e Normalidade dos dados, associados à característica da qualidade em estudo, devem ser verificados.

No desenvolvimento deste trabalho vai ser aplicado as Cartas de Controlo por Variáveis, mais precisamente as cartas de Z e W , sugerindo-se a consulta de Quesenberry para entendimento das restantes cartas de controlo.

Na Tabela 3.6 apresentam-se os tipos de cartas de controlo utilizadas para processos com pequenas produções.

TABELA 3.6 – CARTAS SHORT-RUN

	Cartas de Controle por Variáveis	Carta de Controle por Atributos
Tipo de carta	<p>Carta de Diferenças – Cartas D</p> <ul style="list-style-type: none"> • Médias e Amplitudes - $D_{\bar{X}}$ e R • Médias e Desvio-padrão - $D_{\bar{X}}$ e S • Observações individuais e Amplitudes Móveis - $D_{\bar{X}}$ e MR <p>Carta Z e Carta W</p> <ul style="list-style-type: none"> • Médias e Amplitudes - Z e W_R • Médias e Desvio-padrão - Z e W_S • Observações individuais e Amplitudes Móveis - Z e W_{MR} 	<p>Carta de proporção de não conformes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carta Z_p <p>Carta de defeitos por unidade</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carta Z_u
	Número de dados suficientes para estimar os parâmetros do processo.	Parâmetros do processo conhecidos.
Tipo de carta	<p>Carta Q</p> <ul style="list-style-type: none"> • Média e Variância - $Q_{\bar{X}}$ e Q_{S^2} • Observações individuais e Amplitudes Móveis - Q_X e Q_{MR} <p>Carta $CUSUMQ$ ou $EWMAQ$</p>	<p>Carta de proporção de não conformes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carta Q_p <p>Carta de defeitos por unidade</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carta Q_u
	Número de dados insuficientes para estimar os parâmetros do processo.	Parâmetros do processo desconhecidos.

3.10.2. CARTA DE CONTROLO Z_X E W_{MR}

As cartas de controle Z e W utilizam-se fundamentalmente quando se pretende representar numa mesma carta produtos para os quais as médias e os desvios padrão diferem. Para tal procede-se à transformação de dados utilizando-se a estimativa das médias e dos desvios padrão característicos dos vários tipos de produtos a representar. Essa transformação torna os dados adimensionais e permite representar na mesma carta produtos cujos parâmetros de localização e de dispersão diferem. Os valores a representar na carta Z vão ser transformados usando para tal os parâmetros do processo referentes a cada tipo de produto. Este tipo de cartas permite acomodar mais situações quando em comparação com as cartas de diferenças que exigem que o desvio padrão da característica em estudo não seja significativamente diferente para os vários produtos em análise. Assim, quando as variâncias dos processos referentes a cada tipo de produto são significativamente diferentes não é possível utilizar as

cartas de controlo das diferenças – Carta D , sendo utilizadas então as cartas Z e W . Para proceder a essa verificação utiliza-se o Teste de Bartlett, tendo como finalidade comparar as variâncias de várias populações e decidir se existem diferenças entre elas. No caso, em que as variâncias são significativamente diferentes, é necessário proceder à transformação dos dados para que estes se tornem adimensionais. As transformações efetuadas recorrem estimativas dos parâmetros do processo, média e desvio padrão, de cada característica do produto, sendo, por esta razão, preferencialmente utilizadas na fase 2 do controlo estatístico.

Uma grande vantagem na construção das cartas de controlo Z e W , é o facto de permitirem a construção de uma só carta para o controlo de todas as características em estudo. As cartas Z e W baseiam-se nos mesmos princípios que são utilizados para as cartas de controlo tradicionais, sendo construídas para um nível de significância de 0,0027 e utilizando as mesmas regras para deteção de padrões não aleatórios.

As cartas Z são utilizadas para o controlo da média dos processos, enquanto que as cartas W são utilizadas para o controlo da dispersão. Os dados utilizados na implementação destas cartas devem ser independentes e normalmente distribuídos.

Existem três tipos de cartas de controlo Z e W , as cartas de controlo de médias e amplitudes, cartas de médias e desvio padrão, e cartas de observações individuais e amplitudes móveis. Neste trabalho apenas serão utilizadas as cartas de controlo do tipo Z_X e W_{MR} , que correspondem às cartas de observações individuais e amplitudes móveis, pelo que estas serão os únicos tipos de cartas abordadas no presente trabalho.

A amostra é composta por apenas uma observação, $n = 1$, é necessário construir a carta de observações individuais Z_X e a carta de amplitude móvel W_{MR} . Na Fase 1 determina-se os parâmetros do processo, nomeadamente a média (\bar{X}) e o desvio-padrão (σ) para cada tipo de produto que se coloca na carta Z_X . Tendo os parâmetros do processo calculados para os vários tipos de produto existe condições para efetuar a transformação dos dados e construir as cartas Z_X e W_{MR} . A carta Z_X é usada para visualizar e detetar variações nos valores individuais dos vários produtos em estudo. Os produtos a controlar podem ter diferentes parâmetros de localização e de dispersão, mas devem estar suficientemente relacionados entre si de tal forma que o processo produtivo não seja muito distinto.

Os valores a representar na carta Z vão ser transformados, usando para tal os parâmetros do processo referentes a cada tipo de produto respetivamente μ_a e σ_a . Desta forma para o produto “a” as observações transformadas a controlar pela carta são obtidas por:

As estatísticas Z e W são dadas por:

$$(Z_i)_j = \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)_j \quad (3.53)$$

Sendo

x_i – observação individual para o produto j

μ – média do processo para o produto j para a característica em estudo

σ – desvio padrão do processo para o produto j para a característica em estudo

A carta W_{MR} é usada para visualizar e detetar diferenças nos desvios padrão da característica em estudo para os vários produtos a controlar, de acordo com a equação 3.54.

$$(W_i)_j = \frac{(|Z_i - Z_{i-1})_j}{d_2} \quad (3.54)$$

Quando $n = 2$ para a determinação das amplitudes móveis, $(W_i)_j$ pode ser calculado de acordo com a expressão 3.55.

$$(W_i)_j = (|Z_i - Z_{i-1})_j \quad (3.55)$$

Os limites de controlo da carta Z são determinados a partir das equações 3.56, 3.57 e 3.58.

$$LSC_Z = -3 \quad (3.56)$$

$$LC_Z = 0 \quad (3.57)$$

$$LIC_Z = 3 \quad (3.58)$$

Os limites de controlo da carta W são determinados a partir das equações 3.59, 3.60 e 3.61.

$$LSC_{W_R} = d_2 + 3d_3 \quad (3.59)$$

$$LC_{W_R} = d_2 \quad (3.60)$$

$$LIC_{W_R} = d_2 - 3d_3 \quad (3.61)$$

Quando se trabalha com $n = 2$ vem:

$$LSC_{W_R} = 3,686 \quad (3.62)$$

$$LC_{W_R} = 1,128 \quad (3.63)$$

$$LIC_{W_R} = 0 \quad (3.64)$$

Algumas vantagens que se podem obter com a aplicação deste tipo de cartas:

- Graficamente permitem ter acesso à representação da variação de múltiplos produtos na mesma carta;
- É possível analisar na mesma carta diferentes produtos cada qual com a sua média e o seu desvio padrão característicos.

4

CAPÍTULO 4



4.1. CASO DE ESTUDO








No presente capítulo será apresentado o desenvolvimento do estudo do Controlo Estatístico do Processo na EAV, tendo em conta o estudo bibliográfico efetuado no capítulo 3.


Uma vez que a prática existente para o controlo estatístico efetuada pela empresa EAV se limita apenas a algumas características e fundamentalmente ao controlo estatístico que é efetuado no laboratório, este trabalho pretende avaliar a possibilidade de introdução de novas ferramentas de controlo estatístico do processo para que a empresa possa efetuar o controlo da qualidade quer nas linhas de produção, quer no laboratório de uma forma mais eficaz e mais eficiente.

Na EAV são já efetuados diversos tipos de controlos ao longo de todo o processo desde a captação até à fase de embalagem e armazenagem do produto final, de acordo com a Tabela 4.1. Na tabela é identificada a fase do processo onde o controlo é normalmente efetuado bem como a identificação do ponto de controlo tal com previamente descrito nas figuras 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7 do capítulo 2. São também identificados os parâmetros que são medidos, a dimensão de amostra usada, a frequência de recolha e o tipo de controlo e ferramentas de controlo utilizadas.

TABELA 4.1 – PARÂMETROS E CONTROLO EFETUADO PELA EAV ANTES DO ESTUDO

Fase do processo	Parâmetro	<i>n</i>	Frequência Recolha	Tipo controlo	Ferramentas da qualidade
Captação EAV9 (1) 	pH	1	2 vezes por semana	Inspeção	-
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)				
Captação Vimeiro 5 (2) 	pH	1	2 vezes por semana	Inspeção	-
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				

	Temperatura (°C)				
Zona técnica (3) 	pH	1	2 vezes por dia	Inspeção	-
	Condutividade (μS/cm)				
	Temperatura (°C)				
Osmose Inversa (4) 	pH	1	2 vezes por dia	Inspeção	-
	Condutividade (μS/cm)				
	Temperatura (°C)				
Depósitos (5) 	Condutividade (μS/cm)	1	2 vezes por dia	Inspeção	-
	Temperatura (°C)				
Enchimento vidro (6) 	Altura garrafa	4	2h em 2h (exceto CO ₂ – 1h em 1h)	SPC	Carta \bar{X} e carta S
	Volume água				
	1º Torque				
	2º Torque				
	CO ₂ Laboratório				
	CO ₂ Linha				
Enchimento PET (7) 	Altura garrafa	4	2h em 2h (exceto CO ₂ – 1h em 1h)	SPC	Carta \bar{X} e carta S
	Volume água				
	1º Torque				
	2º Torque				
	CO ₂ Laboratório				
	CO ₂ Linha				
Embalagem/Grupagem PET (8) 	Massa do filme retrátil	1	2h em 2h	SPC	Carta \bar{X} e carta MR
Embalagem retrátil vidro (9) 	Massa do filme retrátil	1	2h em 2h	SPC	Carta \bar{X} e carta MR

 Estes são os pontos de controlo do processo tal como identificados no capítulo 2.

- **Diagnóstico ao controlo da qualidade existente**

Após primeira análise aos vários tipos de controlo efetuados pela EAV constatou-se que para várias fases do processo produtivo a empresa baseia-se em processos de inspeção e não utiliza ferramentas da qualidade para recolha e verificação de amostras que representam os resultados do processo,

- I. Assim nos pontos de controlo 1, 2, 3, 4 e 5 correspondentes às captações, zona técnica, osmose inversa e depósitos a empresa realiza a atividade de inspeção, mas, no entanto, não utiliza ferramentas da qualidade com o objetivo de controlar seu funcionamento e diminuir as falhas decorrentes da sua execução.
- II. Nos pontos de controlo 6 e 7 referentes às linhas de enchimento vidro e PET respetivamente as cartas de controlo que eram utilizadas pela EAV correspondem a cartas de controlo de médias (i.e. carta \bar{X}) e carta de desvios padrão (i.e. carta S). Averiguou-se que as cartas utilizadas para controlo da etapa de enchimento não era a adequado, pois para uma dimensão de $n = 4$, as cartas de controlo \bar{X} e S não eram adequadas. Assim seria de reformular o tipo de cartas a utilizar e passar a uma abordagem com cartas do tipo \bar{X} e R .
- III. Nos pontos de controlo 8 e 9 referentes ao processo de embalagem a empresa utilizava as cartas de controlo do tipo X e MR mas como o número de amostras era reduzido para cada tipo de produto a embalar, o numero de cartas de controlo de observações individuais e de amplitudes moveis a utilizar para controlar a quantidade de material a usar no embalagem era muito elevada e o controlo do embalagem pouco eficiente. Verificou-se que seria possível controlar a característica massa de filme retrátil usado no embalagem utilizando para tal uma carte do tipo Z_X e W_{MR} .
- IV. Outra situação identificada com o diagnóstico realizado prende-se com a análise da capacidade do processo que não era efetuada em nenhuma metodologia de controlo. Dessa forma resolveu efetuar-se estudos de capacidade do processo para todos os processos cujo controlo estatístico fosse implementado/modificado no âmbito deste trabalho.
- V. A altura das garrafas também constituiu uma situação a analisar. Uma vez que a altura das garrafas apresenta alguma variabilidade considerada elevada por parte da EAV, foi decidido efetuar-se um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade. É importante realizar o estudo R&R ao processo de medição da altura das garrafas de forma a compreender quanta variabilidade do sistema de medição é causada pelos diferentes operadores, quanta variabilidade do sistema de medição é causada pelo equipamento de medição e também para compreender se a variabilidade do sistema de mediação é pequena quando comparada com a variabilidade do processo e se o sistema de medição é ou não capaz de distinguir entre diferenças garrafas produzidas.
- VI. Relativamente à característica da qualidade e quantidade de CO_2 dissolvido verificou-se que esta característica era controlada somente no laboratório e que o controlo de qualidade do

CO₂ dissolvido não era controlado através da utilização de cartas de controlo sendo apenas realizado inspeção, foi decidido utilizar cartas de controlo de forma a monitorizar o CO₂ dissolvido na linha PET e vidro. No diagnóstico efetuado às cartas de controlo do tipo medias e desvio padrão utilizadas no laboratório para efetuar a determinação do CO₂ dissolvido foi possível constatar que estas não seriam as mais adequadas e que seria melhor implementar cartas de controlo do tipo médias e amplitudes. Para além disso uma situação anómala identificada prendia-se com a quantidade média de CO₂ dissolvido que estava a ser determinada no laboratório que era sistematicamente baixa quando comparada com a quantidade definida na especificação. Tal foi objeto de estudo e várias ações foram desenvolvidas, uma vez que a fórmula de cálculo do CO₂ dissolvido estava incorreta, e tal fazia com a que quantidade de CO₂ dissolvido que estava a ser determinado não correspondesse à quantidade real de CO₂ que existia no interior das garrafas. Para melhor compreender o motivo de tal discrepância foi construído um diagrama de causa e efeito, que se encontra Figura 4.1 - Diagrama de causa-efeito CO₂ Figura 4.1, para identificar quais as potenciais causas que estão na origem de tal problema, tais problemas foram identificados após o controlo estatístico em linha. Para compreender a determinação do CO₂ realizou-se os cálculos de solubilidade do CO₂ em água os quais se encontram no Anexo XIII.



FIGURA 4.1 - DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO CO₂

Assim, serão apresentados na seção 4.2 os produtos em estudo e as características da qualidade que serão objeto de apresentação no âmbito deste trabalho o bem como o método de recolha de dados e frequência

de recolha e o procedimento para implementação do controlo estatístico do processo para as várias características críticas da qualidade.

Numa primeira fase de implementação do controlo estatístico do processo (i.e. fase 1) serão determinados os limites experimentais a utilizar e serão construídas as cartas para as várias características com o objetivo de avaliar a estabilidade do processo. Com o processo sob controlo estatístico os parâmetros do processo (i.e. média e desvio padrão) serão então determinados e estudos sobre a capacidade do processo serão efetuados. Numa segunda fase (fase 2) será feita a monitorização do processo.

4.2. CARATERÍSTICAS DA QUALIDADE EM ESTUDO

Com base no diagnóstico efetuado em 4.1 é possível verificar que o número de características em estudo para as várias fases do processo de produção da EAV é elevado. Neste sentido foi necessário selecionar os pontos de controlo onde o presente trabalho vai incidir e também o tipo de características que vão ser objeto de controlo estatístico e apresentadas neste trabalho. Decidiu-se fazer incidir o estudo do controlo estatístico do processo no pontos de controlo 6 (i.e linha de enchimento vidro), ponto de controlo 7 (i.e. linha de enchimento PET) uma vez que na EAV como já mencionado no capítulo 2 existem duas linhas de engarrafamento, PET e vidro, no qual existem muitas e distintas caraterísticas da qualidade que podem ser medidas e controladas, devido ao número elevado de gama de produtos com especificações diferentes entre eles. Por exemplo, em relação aos produtos da linha PET são produzidos três tipos distintos de água com garrafas de diferentes dimensões: a Água Lisa (Água de mesa), com garrafas de dimensões de 0,33L, 0,50L e 1,5L; a Água Original (Água mineral natural) com garrafas de dimensões de 0,50L e 1,5L; e a Água gaseificada (Água mineral natural com CO₂) com garrafas de dimensões de 0,25L, 0,50L e 1,5L. já no que diz respeito à linha de enchimento de vidro existem dois tipos de água com diferentes dimensões, a Água Lisa, com garrafas de dimensão de 0,75L, e Água gaseificadas com garrafas de dimensão 0,25L e 0,75L respetivamente.




Todas as caraterísticas e gama de produtos podem ser estudadas, sendo que a escolha recaiu sobre as caraterísticas que foram selecionadas face à análise do histórico dos dados existentes na organização, das reclamações dos clientes que envolvem as caraterísticas da qualidade estudadas, bem como dos problemas da qualidade existentes, tais como a incorreta utilização das cartas de controlo, falta de acompanhamento dos resultados das cartas de controlo e inexistência de estudos de capacidade do processo. Na Tabela 4.2 encontram-se os produtos em estudo, a etapa do processo onde ocorre e as caraterísticas em estudo.

No ponto de controlo 6 (enchimento vidro) e 7 (enchimento PET) são recolhidas amostras com dimensão amostral de $n=4$, onde se irá proceder à pesagem de 4 garrafas vazias, que por sua vez serão devidamente identificadas, e de seguida irão ser recolhidos os valores relativos à massa bruta, de forma a calcular o valor da massa líquida e consequentemente o volume de enchimento. Depois serão recolhidos os valores de torque, 1.º torque e 2.º torque, com recurso a um torquímetro, necessários para abrir a cápsula.

Também é medida a altura da garrafa através do graminho. No caso de água com gás em PET e vidro é medido o CO₂ dissolvido através da medição da pressão (bar) e temperatura (°C), em linha com recurso a um manómetro e termómetro analógico e no laboratório com um medidor de infravermelhos .

A frequência de recolha das amostras é de hora em hora no caso da característica da qualidade CO₂ dissolvido na água com gás PET e vidro, e de duas em duas horas para as restantes características da qualidade em estudo. Os equipamento de medição utilizados (Anexo 7.3) encontram-se devidamente calibrados.

TABELA 4.2 – PRODUTOS EM ESTUDO E RESPECTIVAS CARATERÍSTICAS DA QUALIDADE NA ETAPA DO ENCHIMENTO

Etapa processo	Produto	Capacidade	Caraterísticas da Qualidade	Amostragem
Enchimento PET 	Água Lisa	0,33L	<ul style="list-style-type: none"> • Altura garrafa • Volume de água • 1º Torque • 2º Torque 	<p>n = 4 2h em 2h</p>
		0,50L		
	1,50L	Água Original	0,50L	<ul style="list-style-type: none"> • Altura garrafa • Volume de água • 1º Torque • 2º Torque
1,50L				
Enchimento Vidro 	Água com gás*	0,25L	<ul style="list-style-type: none"> • Altura garrafa • Volume de água • 1º Torque • 2º Torque 	<p>n = 4 2h em 2h</p>
		0,50L		
	1,5L	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ Laboratório • CO₂ Linha 	<p>n = 4 2h em 2h</p>	
Enchimento Vidro 	Água com gás**	0,25L	<ul style="list-style-type: none"> • Altura garrafa • Volume de água • 1º Torque • 2º Torque 	<p>n = 4 2h em 2h</p>
		0,75L		
	Água Lisa	0,75L	<ul style="list-style-type: none"> • Altura garrafa • Volume de água • 1º Torque • 2º Torque 	<p>n = 4 2h em 2h</p>

*PET verde; **Vidro verde

Na etapa do enchimento e nos pontos de controlo 7 e 8 (i.e referentes às seções 2.52 e 2.53) e das várias características da qualidade objeto de implementação do controlo estatístico tal como identificadas na tabela 4.3 decidiu-se começar por explorar o CO₂ dissolvido e implementar o processo de controlo estatístico referente à quantidade de CO₂ dissolvido quer em linha quer no laboratório. Assim para as águas gaseificadas da EAV foi implementado o controlo estatístico do processo em linha e foram feitas as devidas modificações relativamente ao tipo de cartas que estavam a ser utilizadas para o controlo estatístico referente à quantidade de CO₂ dissolvido que estava a ser determinado no laboratório (alteração das cartas de medias e desvio padrão para cartas de médias e amplitudes) com a modificação da fórmula de calculo do CO₂ dissolvido face aos problemas que foram identificados no diagnóstico efetuado na EAV.

Neste capítulo e no que diz respeito à característica da qualidade CO₂ dissolvido apresenta-se a implementação do controlo estatístico em linha, para os pontos de controlo 6 e 7 (i.e. enchimento vidro e enchimento PET) na fase 1 e na fase 2. Será também efetuado o estudo de capacidade do processo para o CO₂ dissolvido na linha de enchimento PET e vidro. Quanto ao controlo estatístico do processo implementado para as medições no laboratório para o CO₂ dissolvido quer para o PET quer para o vidro (ponto de controlo 6 e ponto de controlo 7) bem como o estudo da capacidade do processo poderão ser consultados no ANEXO ...

No que diz respeito às restantes características da qualidade a controlar na linha de enchimento de vidro e de PET (i.e. pontos de controlo 6 e 7) selecionou-se para colocar neste capítulo a característica da qualidade volume de água da garrafa na linha de enchimento PET e uma vez que existem vários produtos distintos, assim selecionou-se a garrafa de 1,5 L. As restantes cartas de controlo para os produtos 0,5 L e 0,25L encontram-se em anexo 7.8 e 7.9 uma vez que o processo de implementação do controlo estatístico é idêntico e determinaram-se os índices de capacidade do processo para os vários produtos (i.e. diferentes garrafas com diferentes capacidades).

Também não se encontram neste capítulo as cartas para a característica volume de água para a Linha de enchimento vidro e para os vários tipos de capacidades uma vez que o procedimento de implementação e controlo é idêntico.

No que diz respeito à característica da qualidade altura da garrafa, como apresenta alguma variabilidade considerada elevada por parte da EAV, foi decidido efetuar-se um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade antes de se proceder à implementação do controlo estatístico do processo.



Quanto à etapa do processo de embalagem, referente aos pontos de controlo 8 e 9 apresenta-se neste capítulo a implementação do controlo estatístico para a característica massa do retrátil. A massa do filme retrátil tem interesse para a verificação de eventuais desperdícios de material pois caso o peso médio do filme retrátil produzido se encontre muito acima do seu limite superior de especificação tal terá um efeito económico negativo uma vez que face ao número de packs que se embalam diariamente tal poderá constituir um desperdício considerável.

A quantidade de filme retrátil a utilizar também nunca deverá estar abaixo do seu limite inferior de especificação pois tal poderá levar a problemas na distribuição com embalagens que se deterioram trazendo grandes prejuízos para a empresa.

Uma vez que em relação à massa de retrátil o controlo de qualidade assenta em series curtas de produção foi decidido implementar cartas de controlo do tipo Z_W e W_{MR} para efetuar o controlo da característica massa de retrátil para os diferentes produtos e pack de embalagens produzidas na EAV. Uma vez que na EAV existem duas máquinas de embalagem uma para a linha PET (ponto de controlo 8) e outra para a linha vidro (ponto de controlo 9) neste capitulo será explicado o processo de implementação do controlo estatístico somente para o ponto de controlo 8.

Na Tabela 4.3 encontram-se os produtos em estudo e a característica da qualidade massa de retrátil, por linha de embalagem. São também apresentados os vários tipos de produtos e a frequência e dimensão de amostragem.

TABELA 4.3 - PRODUTOS EM ESTUDO E RESPECTIVAS CARATERÍSTICAS DA QUALIDADE NA ETAPA DO EMBALAMENTO

Etapa do processo	Linha de produção	Produto/Pack	Caraterística da qualidade	Dimensão e frequência de Amostragem
Embalagem/ Grupagem 	PET	0,25L gás– Pack 6 0,33L lisa – Pack 24 0,50L lisa e original – Pack 12 1,5L lisa e original– Pack 6 1,5L gás – Pack 4 0,50L gás – Pack 6	Massa do retrátil	$n = 1$ 2h em 2h
Embalagem retrátil 	Vidro	0,25L gás – Pack 24 0,75L lisa e gás – Pack 6	Massa do retrátil	$n = 1$ 2h em 2h

4.3. RECOLHA DE DADOS

Após análise do processo de produção, e selecionadas as características da Qualidade a controlar, é fundamental estabelecer um plano adequado de recolha das amostras. Relativamente à frequência na recolha de amostras, optou-se por recolher o maior número de amostras possível dentro do tempo disponível. Como a linha PET e vidro produzem toda a gama de produtos numa só linha, definiu-se que aquando da produção de cada produto recolhe-se amostras de produto acabado de duas em duas horas

até ao final da produção na etapa de enchimento e embalagem, e de 1h em 1h para a característica da qualidade CO₂ dissolvido . No que diz respeito à dimensão das amostras na etapa do enchimento, optou-se por recolher amostras de dimensão $n = 4$, para a fase 1 de implementação do SPC, construindo as cartas de controlo da 1ª fase com um conjunto de 40 amostras. Para a etapa do embalagem de PET e vidro (ponto de controlo 8 e 9) a dimensão amostral selecionada foi de $n = 1$, tendo-se utilizado todas as medidas da característica da qualidade massa de retrátil para os vários tipos de produto ao longo de dois meses de produção aproximadamente de forma a ter um mínimo amostras para implementar as cartas de controlo do tipo \bar{X} e MR para os vários produtos e traçar os limites de controlo experimentais e determinar os parâmetros do processo a utilizar na construção das cartas de controlo do tipo $Z_{\bar{X}}$ e W_{MR} a utilizar para controlar a massa de retrátil da fase 2 do controlo estatístico.

Por sua vez, a Fase 2 contemplou também realização de medições que dizem respeito a dois meses de produção. Para realizar as medições das características da qualidade em estudo utilizou-se equipamentos calibrados (Anexo III).

4.4. ESTUDO R&R PARA A ALTURA DAS GARRAFAS NA LINHA DE ENCHIMENTO PET

Como já mencionado no capítulo 3, existem vários fatores que podem constituir as fontes de variação, como o sistema de medição, pretende-se que a variação associada ao sistema de medição seja de muito menor magnitude quando comparado com a variação usual do processo. Tipicamente a variabilidade associada ao sistema de mediação deverá ser 10 vezes inferior à variação usual do processo.

Foi realizado um estudo R&R (Reproducibility & Repeatability) com a finalidade de avaliar o sistema de medição para a característica altura utilizado pela Empresa EAV. Neste estudo participaram quatro operadores e utilizaram-se dezasseis garrafas aleatórias da mesma referência. Cada colaborador realizou 5 medições para a mesma garrafa e avaliaram-se os aparelhos de medição utilizados pelos operadores na linha de produção. Na Tabela 4.4 encontra-se os dados do estudo R&R utilizado para todas as alturas das garrafas.

TABELA 4.4 - DADOS DO ESTUDO

Peças	16
Operadores	4
Réplicas	5
Total de medições	320

4.4.1. ESTUDO R&R PARA GARRAFAS 1,5L PET TRANSPARENTES

Serão apresentados os estudos ANOVA para “Altura garrafas PET transparentes 1,5L”, onde a metodologia de aplicação foi a mesma. O estudo foi efetuado com recurso à análise de variância, pelo método ANOVA com recurso ao *software* Minitab 18, sendo que os gráficos obtidos encontram-se no anexo IV. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabela 4.5 e Tabela 4.6.

TABELA 4.5 - TABELA ANOVA COM DOIS FATORES DE INTERAÇÃO COM $\alpha = 0,05$

Fonte	gl	SQ	QM	F	P
Altura	15	17,1074	1,14049	163,486	0,000
Operador	3	0,4062	0,13541	19,411	0,000
Altura * Operador	45	0,3139	0,00698	2,786	0,000
Repetibilidade	256	0,6410	0,00250		
Total	319	18,4685			

TABELA 4.6 - R&R DA MEDIÇÃO

Fonte	CompVar	%Contribuição (de CompVar)
Total de R&R da Medição	0,0050038	8,11
Repetibilidade	0,0025039	4,06
Reprodutibilidade	0,0024999	4,05
Operador	0,0016055	2,60
Operador*Altura	0,0008944	1,45
Peça a Peça	0,0566758	91,89
Varição Total	0,0616796	100,00

Com base na Tabela 4.5, podemos concluir que o efeito dos altura na medição é significativo (P -value = 0,000), os operadores têm um efeito significativo (P -value = 0,000) e há interação entre os operadores e os produtos (P -value = 0,000).

Os valores das variâncias foram obtidos através do *software* Minitab, deste modo:

$$\sigma_{\text{erro de medição}}^2 = \sigma_{\text{Repetibilidade}}^2 + \sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2$$

$$\sigma_{\text{erro de medição}}^2 = 0,0025039 + 0,0024999$$

$$\sigma_{\text{erro de medição}}^2 = 0,005$$

Assim,

$$\frac{\sigma_{\text{erro de medição}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,07}{0,25} \times 100 = 28,4\% > 10\%$$

Verificou-se que o sistema de medição não é adequado para um nível de significância de 5%.

$$\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,05}{0,25} \times 100 = 20\% > 10\%$$

$$\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,05}{0,25} \times 100 = 20\% > 10\%$$

Conclui-se que tanto os operadores como o sistema de medição está a influenciar os resultados medidos, assim recomenda-se a revisão da metodologia do sistema de medição, bem como formar os operadores para a metodologia de medição. Devido ao facto do sistema de medição possuir problemas não foi possível implementar o controlo estatístico do processo, mais precisamente as cartas controlo para esta característica. A aplicação do *SPC* apenas pode ser feito quando se aplicar medidas de forma a controlar as variações.

4.4.2. ESTUDO R&R PARA GARRAFAS 0,50L PET VERDES

Serão apresentados os estudos ANOVA para “Altura garrafas PET verdes 0,5L”. O estudo foi efetuado com recurso à análise de variância, pelo método ANOVA com recurso ao *software* Minitab 18, os gráficos obtidos encontram-se no anexo V. Os resultados obtidos encontram-se nas tabelas 4.7 e 4.8..

TABELA 4.7 - TABELA ANOVA COM DOIS FATORES DE INTERAÇÃO COM $\alpha = 0,05$

Fonte	gl	SQ	QM	F	P
Altura	15	0,526025	0,0350683	29,9260	0,000
Operador	3	0,133397	0,0444658	37,9455	0,000
Altura * Operador	45	0,052733	0,0011718	2,1732	0,000
Repetibilidade	256	0,138040	0,0005392		
Total	319	0,850195			

TABELA 4.8 - R&R DA MEDIÇÃO

Fonte	CompVar	%Contribuição (de CompVar)
Total de R&R da Medição	0,0012069	41,59
Repetibilidade	0,0005392	18,58
Reprodutibilidade	0,0006677	23,01
Operador	0,0005412	18,65
Operador*Altura	0,0001265	4,36
Peça a Peça	0,0016948	58,41
Varição Total	0,0029017	100,00

Com base na Tabela 4.7, podemos concluir que o efeito dos altura na medição é significativo (P -value = 0,000), os operadores têm um efeito significativo (P -value = 0,000) e há interação entre os operadores e os produtos (P -value = 0,000).

Os valores das variâncias foram obtidos através do *software* Minitab 18, deste modo:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{erro de medição}}^2 &= \sigma_{\text{Repetibilidade}}^2 + \sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2 \\ \sigma_{\text{erro de medição}}^2 &= 0,0005392 + 0,0006677 \\ \sigma_{\text{erro de medição}}^2 &= 0,0012069\end{aligned}$$

Assim,

$$\frac{\sigma_{\text{erro de medição}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,035}{0,054} \times 100 = 64,5\% > 10\%$$

Verificou-se que o sistema de medição não é adequado para um nível de significância de 5%.

$$\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,23}{0,054} \times 100 = 43\% > 10\%$$

$$\frac{\sigma_{\text{reprodutibilidade}}}{\sigma_{\text{total}}} = \frac{0,25}{0,054} \times 100 = 47,9\% > 10\%$$

Conclui-se que tanto os operadores como o sistema de medição está a influenciar os resultados medidos, assim recomenda-se a revisão da metodologia do sistema de medição, bem como formar os operadores para a metodologia de medição. Devido ao facto de o sistema de medição possuir problemas não foi possível implementar o controlo estatístico do processo, mais precisamente as cartas controlo para esta característica. A aplicação do *SPC* apenas pode ser feito quando se aplicar medidas de forma a controlar as variações.

4.5. PROCEDIMENTO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Com base nos conceitos desenvolvidos nos capítulos 2 e 3, o procedimento a seguir para a implementação do controlo estatístico do processo vem descrito de seguida.

Para o controlo estatístico efetuado na linha de enchimento vidro e PET referentes aos pontos de controlo 6 e 7:

Fase 1:

- Construção para todas as características da qualidade (i.e. altura, volume de água, 1º torque e 2º torque, CO₂ Linha e CO₂ laboratório) das cartas de controlo \bar{X} e R ;
- Análise das cartas de controlo para analisar se o processo se encontra sob controlo estatístico (i.e. estável e previsível);
- Verificar os pressupostos (normalidade, independência e aleatoriedade das observações);
- Estimar os parâmetros do processo (i.e. média do processo e desvio padrão do processo);
- Analisar a capacidade dos processos (i.e. verificar se os processos cumprem com a especificação);
- Tomar medidas corretivas caso os processos não sejam capazes de cumprir com as especificações.

Fase 2:

- Construir as cartas de controlo \bar{X} e R , fazendo uso dos limites de controlo determinados na fase I de implementação do SPC (i.e. limites de controlo experimentais);
- Utilizar somente a regra 1 para deteção de causas assinaláveis de variação (i.e. um ponto fora dos limites de controlo);
- Monitorizar o processo, caso seja verificada alguma causa especial de variação deverão ser tomadas as medidas corretivas adequadas.

Para o controlo estatístico efetuado na etapa de embalamento PET e vidro (i.e. Pontos de controlo 8 e 9)

Fase 1:

- Construção para a característica da qualidade massa do filme retrátil dos vários tipos de produtos/ packs as cartas de controlo \bar{X} e MR ;
- Análise das cartas de controlo para analisar se o processo se encontra sob controlo estatístico;
- Verificar a Normalidade dos dados, e caso a mesma não se verifique proceder à transformação dos mesmos;
- Estimar os parâmetros do processo; (i.e. Média e desvio padrão do processo);
- Analisar a capacidade dos processos; (i.e. verificar o cumprimento com as especificações);
- Tomar medidas corretivas caso os processos não sejam capazes de cumprir com a especificação.

Fase 2:

- Construir as cartas de controlo Z_x e W_{MR} para todos os packs à medida que os mesmos vão sendo embalados, fazendo uso dos parâmetros do processo, media e desvio padrão determinados na fase 1 do controlo estatístico;
- Utilizar a regra 1 para determinação de causas assinaláveis de variação;
- Monitorizar o processo, sendo que caso seja verificada alguma causa especial de variação deverão ser tomadas as medidas corretivas adequadas, e desencadear ações para que a situação que deu origem ao problema não volte a ocorrer no futuro.

4.6. CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO

A construção das cartas de controlo foi feita para todos os produtos desenvolvidos na EAV, mas serão apenas apresentadas de seguida para as características que possuem uma maior variabilidade no processo, sendo a metodologia de aplicação idêntica para as restantes características. Após a recolha dos primeiros dados verificou-se que o processo não estava sob controlo, e as medidas tomadas para corrigir eventuais causas especiais de variação resumiu-se em elaborar um diagrama de causa-efeito com os intervenientes no processo, de modo a averiguar as possíveis causas tanto na linha PET como na linha vidro, para a característica da qualidade CO₂ em linha.

4.6.1. CARTA DE CONTROLO CO₂ EM LINHA PET

Após recolhas das amostras de cerca de 40 amostras com dimensão de $n = 4$, para a implementação das cartas de controlo na fase I, procedeu-se à construção das cartas \bar{X} e R . Construiu-se este tipo de cartas, uma vez que as amostras têm dimensão de $2 < n \leq 10$. Nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo a característica da qualidade "CO₂ Linha PET", do produto acabado da linha de PET, em anexo encontram-se presentes os resultados da linha de PET para a determinação do CO₂ no laboratório, no qual o procedimento implementado foi idêntico.

Os resultados obtidos das cartas de médias e amplitudes construídas na fase 1, encontram-se nas Figura 4.2 e Figura 4.3.

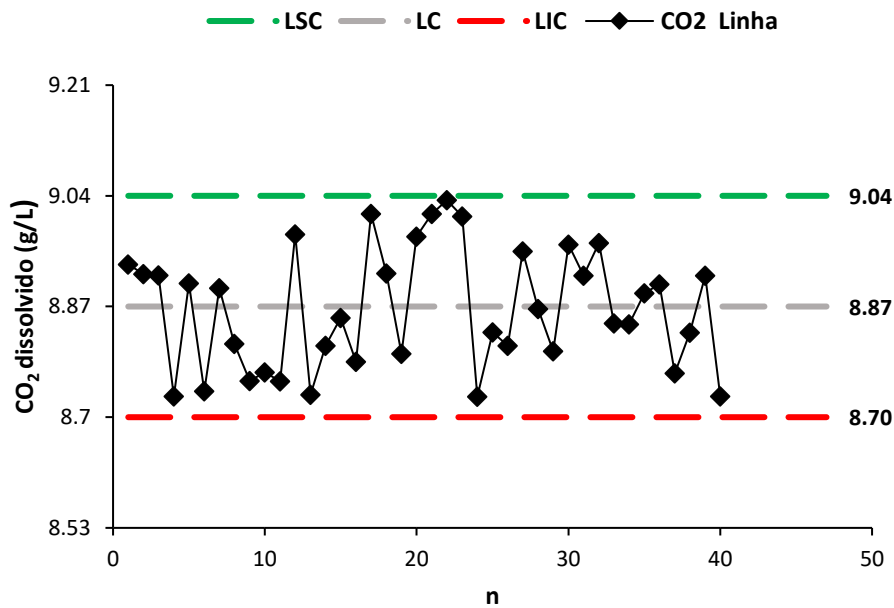


FIGURA 4.2 – CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 1 – CO₂ LINHA PET

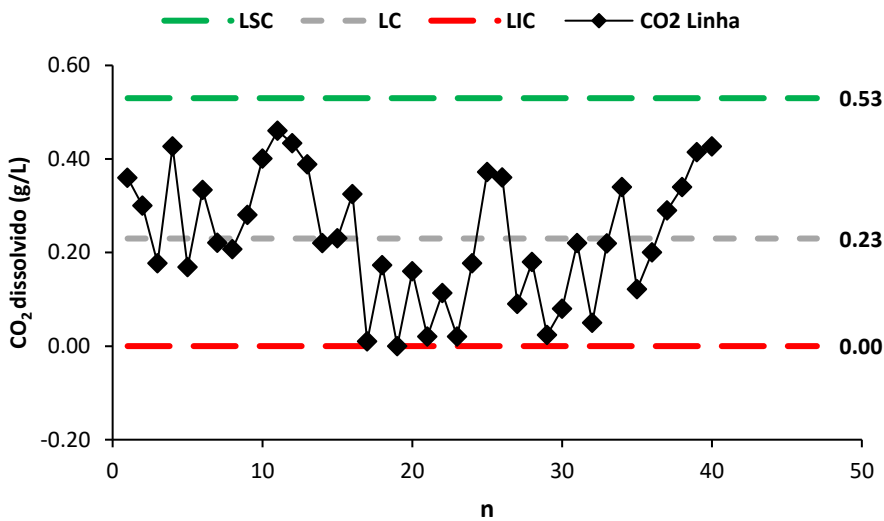


FIGURA 4.3 – CARTA DE CONTROLO R FASE 1 - CO₂ LINHA PET

Analisando as cartas obtidas, verifica-se que todos os pontos estão sob controle estatístico nas cartas \bar{X} e R . Apenas foi avaliada a regra 1, ou seja, a detecção de causas especiais de variação, e verifica-se que não se verifica nenhuma causa especial de variação. Com o processo sob controle estatístico na fase 1, passou-se à fase 2, que consiste na monitorização do processo.

4.6.1.1. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO CO₂ LINHA PET

Com o processo sob controlo estatístico é agora possível proceder à estimação dos parâmetros dos processos, bem como à análise da capacidade dos mesmos. A estimação dos parâmetros de determinado processo pode ser efetuada com base nas equações 3.23 e 3.24 apresentadas no capítulo 3. Para o caso do "CO₂ Linha PET" estes serão:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = 8,87$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0,113$$

Para determinar a capacidade do processo consideram-se as equações 3.35, 3.36, 3.37 e 3.38 do capítulo 3, visto que estamos perante produtos com especificações bilaterais. Sendo o limite inferior de especificação do "CO₂ em Linha" de 8,00g/L e o limite superior de especificação de 9,50g/L, os seus índices de capacidade são:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{3\sigma} = \frac{9,50-8,00}{6 \times 0,113} = 2,2$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{9,50 - 8,87}{3 \times 0,113} = 1,87$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{8,87 - 8,00}{3 \times 0,113} = 2,55$$

$$C_{pk} = \min ((C_{pk})_I ; (C_{pk})_S) = \min (2,55); (1,86) = 1,87$$

Para o CO₂ em Linha o valor mínimo entre o $(C_{pk})_S$ e o $(C_{pk})_I$ é o $(C_{pk})_S$, sendo o processo capaz de cumprir com a especificação técnica bilateral, ou seja $1,87 \geq 1,33$.

No entanto verifica-se que o processo se encontra descentrado, estando a média do processo um pouco acima em relação ao valor alvo de especificação.

Depois de aplicada a Fase 1 do SPC, na qual se verificou a estabilidade nos processos de produção, estimou-se os parâmetros dos mesmos, verificando-se que o processo é capaz de produzir segundo as suas especificações técnicas.

De seguida iniciou-se a Fase 2 de controlo estatístico para monitorizar o CO₂ dissolvido em linha. O objetivo da Fase 2 do SPC é a monitorização do processo de produção.

Tal como para a Fase 1, nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo para o "CO₂ dissolvido na Linha de enchimento PET", sendo que no anexo VII encontram-se presentes os resultados para a medição em laboratório, para os quais o procedimento implementado foi idêntico. Sendo o objetivo nesta fase a monitorização do processo, à medida que os dados vão sendo recolhidos vão sendo construídas as cartas de controlo \bar{X} e R , para que caso seja detetada alguma causa especial de variação as medidas necessárias à sua correção possam ser tomadas atempadamente. Terminada a implementação da Fase 2, as cartas de controlo de médias e de obtidas para o "CO₂ dissolvido na Linha de enchimento PET" encontram-se nas Figura 4.4 e Figura 4.5.

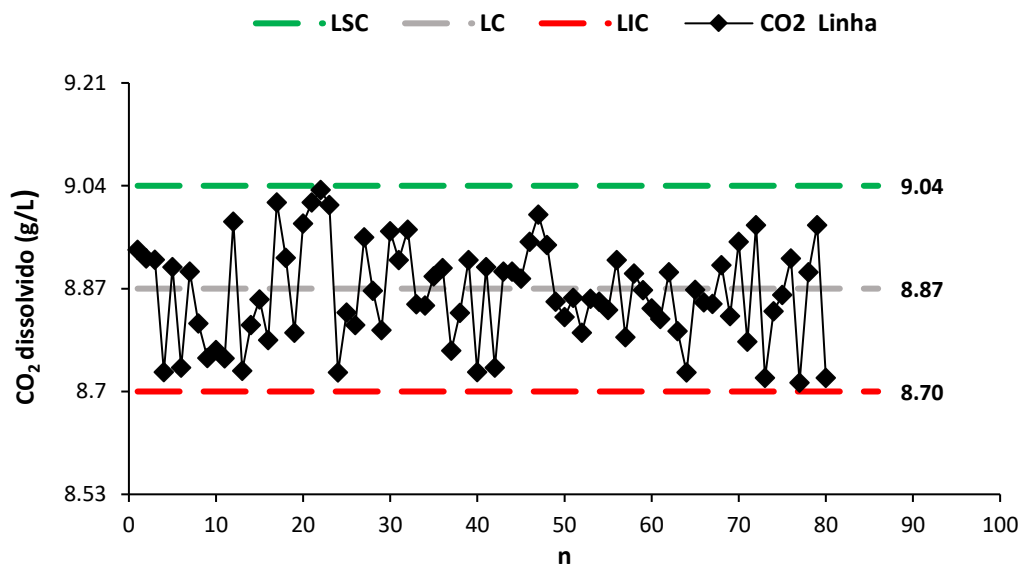


FIGURA 4.4 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 2- CO₂ LINHA PET

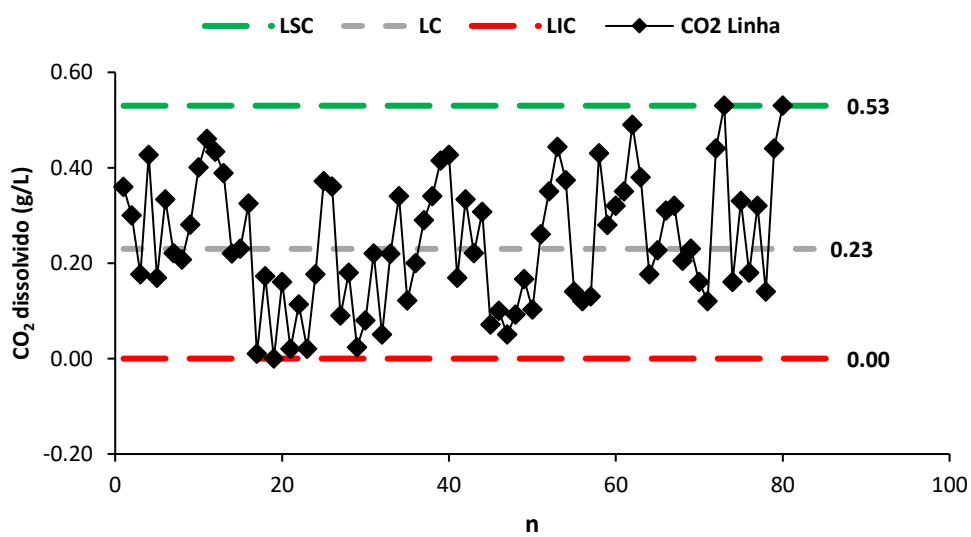


FIGURA 4.5 - CARTA DE CONTROLO R FASE 2- CO₂ LINHA PET

Analisando a Figura 4.4 e Figura 4.5 verifica-se que não existem causas especiais de variação, de acordo com a regra 1. A variação do processo advém de causas comuns de variação.

4.6.2. CARTA DE CONTROLO CO₂ EM LINHA VIDRO

Após recolha de cerca de 40 amostras com dimensão de $n = 4$, para a implementação das cartas de controlo na fase 1, procedeu-se à construção das cartas \bar{X} e R . Construiu-se este tipo de cartas, uma vez que as amostras têm dimensão de $2 < n \leq 10$. Nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo a característica da qualidade “CO₂ dissolvido na Linha de enchimento Vidro”, no em anexo VI encontram-se presentes os resultados da linha de vidro para a determinação do CO₂ no laboratório, no qual o procedimento implementado foi idêntico.

Os resultados obtidos das cartas de médias e amplitudes construídas na fase 1.

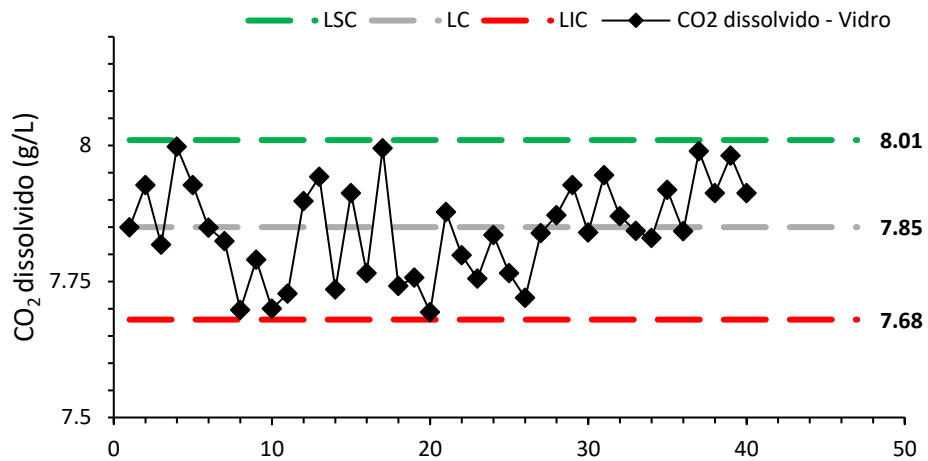


FIGURA 4.7 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 1 - CO₂ DISSOLVIDO VIDRO

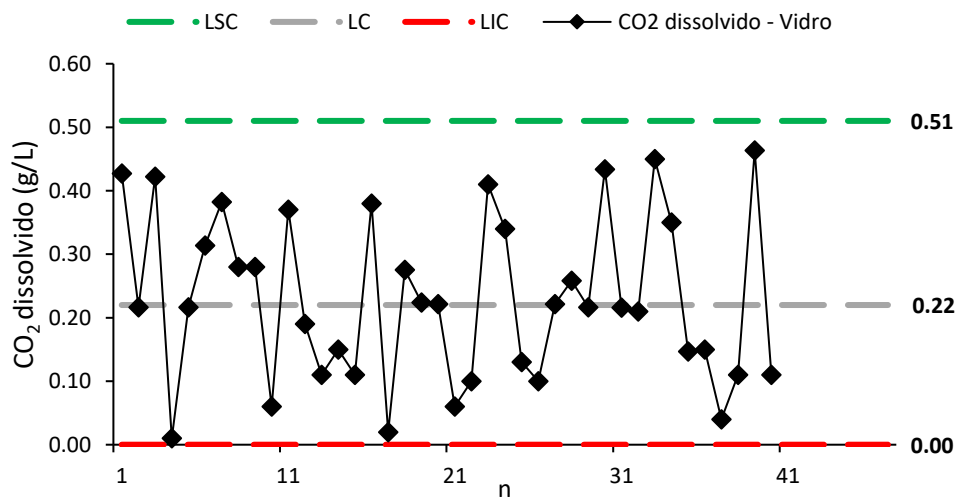


FIGURA 4.6 - CARTA DE CONTROLO R FASE 1 - CO₂ DISSOLVIDO VIDRO

Analisando as cartas obtidas, verifica-se que todos os pontos se encontram dentro dos limites de controlo, desta forma estão sob controlo estatístico nas cartas \bar{X} e R . De seguida passou-se à fase 2 do controlo estatístico do processo que consiste na monitorização do mesmo. Apresentam-se nas Figura 4.6 - CARTA de controlo R Fase 1 - CO₂ dissolvido Vidro Figura 4.6 e Figura 4.7 as cartas de controlo correspondentes às primeiras amostras.

4.6.2.1. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO CO₂ LINHA VIDRO

Assumindo que os dados recolhidos são independentes, confirmam-se todos os pressupostos necessários à implementação das cartas de controlo como ferramenta do controlo estatístico de processos. Assim sendo, é agora possível proceder à estimação dos parâmetros dos processos, bem como à análise da capacidade dos mesmos. A estimação dos parâmetros de determinado processo pode ser efetuada com base nas equações 3.23 e 3.24 apresentadas no capítulo 3. Para o caso do "CO₂ Linha Vidro" estes serão:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = 7,85$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0,109$$

Para determinar a capacidade do processo considera-se a equações 3.35, 3.36, 3.37 e 3.38 do capítulo 3, visto que estamos perante produtos com especificações bilaterais. Sendo o limite inferior de especificação do "CO₂ em Linha" de 7,50g/L e o limite superior de especificação de 9,00g/L, os índices de capacidade são:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{3\sigma} = \frac{9,00 - 7,50}{6 \times 0,109} = 2,3$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{9,00 - 7,85}{3 \times 0,109} = 3,53$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{7,85 - 7,50}{3 \times 0,109} = 1,06$$

$$C_{pk} = \min((C_{pk})_I; (C_{pk})_S) = \min(1,06); (3,53) = 1,06$$

Para o CO₂ em Linha o valor mínimo entre o $(C_{pk})_S$ e o $(C_{pk})_I$ é o $(C_{pk})_I$, sendo o processo marginalmente capaz de cumprir com a especificação técnica bilateral, ou seja $1,06 < 1,33$.

O processo está descentrado para o lado inferior da especificação o que mostra que a média do processo se encontra abaixo do valor alvo de especificação. Uma ação a desenvolver será centrar a média do

processo com o valor alvo de especificação. As questões de localização são simples de resolver e o processo apresenta uma variabilidade reduzida como se pode verificar pelo índice C_p .

Depois de aplicada a Fase 1 do SPC, na qual se verificou a estabilidade nos processos de produção, estimou-se os parâmetros dos mesmos, verificando-se que o processo não é capaz de produzir segundo as suas especificações técnicas. De seguida iniciou-se a Fase 2 para os diferentes processos. O objetivo da Fase 2 do SPC é a monitorização dos processos de produção, e para a sua aplicação.

Tal como para a Fase 1, nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo para as "CO₂ Linha Vidro". Sendo o objetivo nesta fase a monitorização do processo, à medida que os dados vão sendo recolhidos vão sendo construídas as cartas de controlo \bar{X} e R , para que caso seja detetada alguma causa especial de variação as medidas necessárias à sua correção possam ser tomadas atempadamente.

Terminada a implementação da Fase 2, as cartas de controlo obtidas para o "CO₂ Linha Vidro" encontram-se nas Figura 4.8 e Figura 4.9.

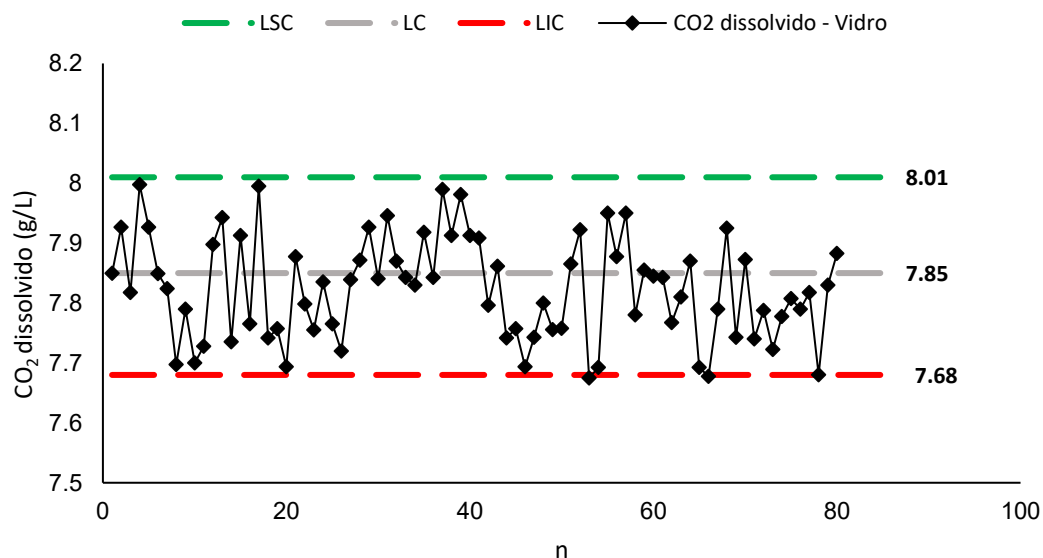


FIGURA 4.8 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 2 - CO₂ DISSOLVIDO VIDRO

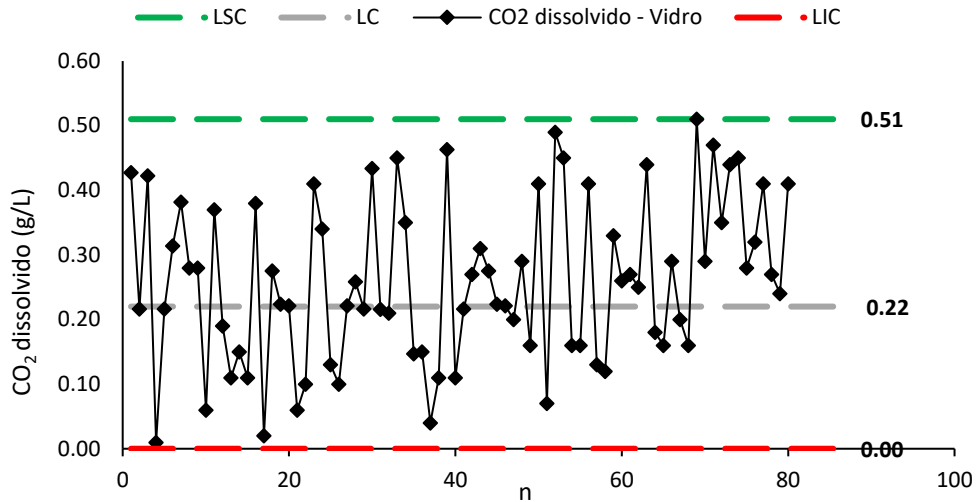


FIGURA 4.9 - CARTA DE CONTROLO R FASE 2 - CO₂ DISSOLVIDO VIDRO

Analisando as Figura 4.8 e Figura 4.9 verifica-se que todos os pontos se encontram dentro dos limites de controle, não existindo causas especiais de variação de acordo com a regra 1 avaliada. A variação do processo advém de causas comuns de variação. Com o processo sob controle estatístico na fase 1, passou-se à fase 2, que consiste na monitorização do processo.

4.6.3. CARTA DE CONTROLO VOLUME DE ÁGUA NA GARRAFA 1,50L VERDE PET

Nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo a característica da qualidade “Volume de água 1,5L verde”, do produto acabado da linha de PET, em anexo encontram-se presentes os resultados da linha de vidro. Com cerca de 40 amostras com dimensão de $n = 4$, fez-se a implementação das cartas de controlo na fase 1, procedeu-se à construção das cartas \bar{X} e R , conforme as Figura 4.10 e Figura 4.11.

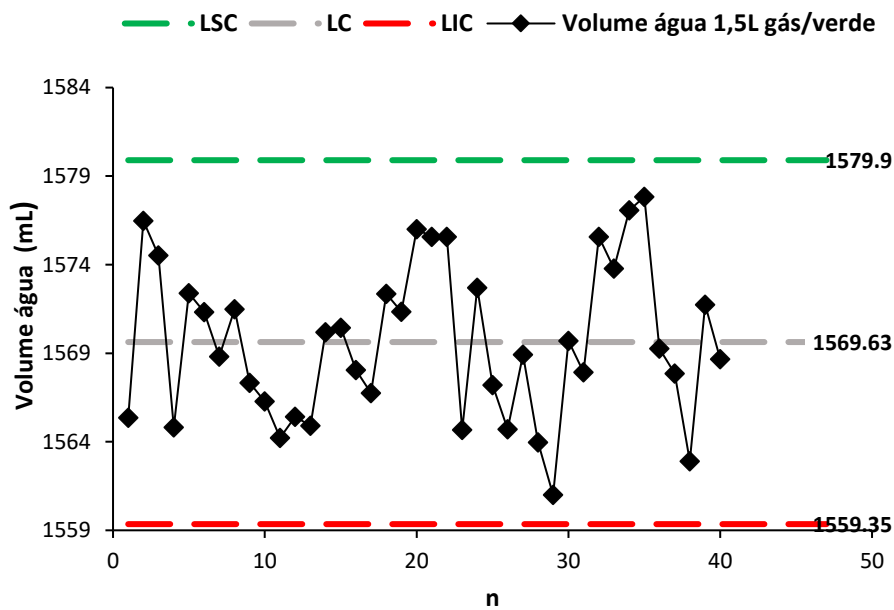


FIGURA 4.10 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 1 – VOLUME ÁGUA 1,5L VERDE

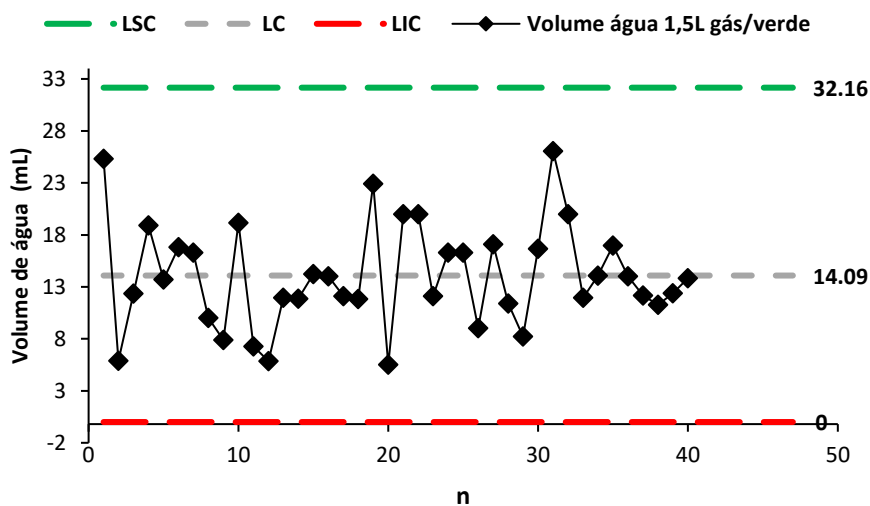


FIGURA 4.11 - CARTA DE CONTROLO R FASE 1 – VOLUME ÁGUA 1,5L VERDE

Analisando as cartas obtidas, verifica-se que todos os pontos estão sob controlo estatístico nas cartas \bar{X} e R . De seguida passou-se à fase 2 do controlo estatístico do processo que consiste na monitorização do mesmo.

4.6.3.1. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO VOLUME DE ÁGUA GARRAFA 1,5L VERDE PET

Assumindo que os dados recolhidos são independentes, confirmam-se todos os pressupostos necessários à implementação das cartas de controlo como ferramenta do controlo estatístico de processos. Assim sendo, é agora possível proceder à estimação dos parâmetros dos processos, bem como à análise da capacidade dos mesmos. A estimação dos parâmetros de determinado processo pode ser efetuada com base nas equações apresentadas no capítulo 3. Para o caso do "Volume água garrafa 1,5L verde" estes serão:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = 1569,63$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 6,84$$

Para determinar a capacidade do processo considera-se as equações 3.22, 3.30 e 3.24 do capítulo 3, visto que estamos perante produtos com especificações bilaterais. Sendo o limite inferior de especificação do "Volume de água 1,5L verde" de 1500mL e o limite superior de especificação de 1590mL, o seu índice de capacidade $(C_{pk})_I$ e $(C_{pk})_S$ é então, tal como apresentado nas seguintes equações:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{3\sigma} = \frac{1590 - 1500}{6 \times 6,84} = 2,19$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{1590 - 1569,63}{3 \times 6,84} = 0,992$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{1569,63 - 1500}{3 \times 6,84} = 3,391$$

$$C_{pk} = \min ((C_{pk})_I ; (C_{pk})_S) = \min (3,391); (0,992) = 0,992$$

O mesmo raciocínio foi utilizado para os restantes produtos, o que resultou na tabela 4.9:

TABELA 4.9 - RESUMO DA ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO

	Garrafa 1,5L Verde PET	Garrafa 0,50L Verde PET	Garrafa 0,25L Verde PET
$\hat{\sigma}$	6,84	3,17	1,70
$\hat{\mu}$	1569,63	506,76	258,83
LSE	1590	512	262
LIE	1500	500	250
C_p	2,19	0,63	1,175
$(C_{pk})_S$	0,99	0,55	0,62
$(C_{pk})_I$	3,39	0,71	1,73

Analisando a Tabela 4.9 verifica-se que todos os produtos com valor mínimo entre o $(C_{pk})_S$ e o $(C_{pk})_I$, considerou-se que o processo não é capaz de cumprir com a especificação técnica bilateral, ou seja todos os valores são < 1 . A garrafa 0,50L Verde PET apresenta uma variabilidade muito elevada pois $C_p = 0,63 < 1,33$, sendo que o processo não é capaz de produzir de acordo com as especificações técnicas, o que demonstra que existe graves problemas o que se pode constatar que a variabilidade varia muito de acordo com a dimensão da garrafa, possivelmente deve-se à velocidade de enchimento desse tipo de garrafa e com a pressão de CO₂ ocorrer uma variabilidade relativa ao volume de água, ou possivelmente a enchedora não se encontra afinada para a capacidade de 0,50L verde PET.

No entanto verifica-se que o processo se encontra descentrado, estando a media do processo um pouco acima em relação ao valor alvo de especificação, nas três medições da água com gás. Mas as garrafas 1,5L verde PET e 0,25L Verde PET apresentam apenas problemas de localização.

Depois de aplicada a Fase 1 do *SPC*, na qual se verificou a estabilidade nos processos de produção, estimou-se os parâmetros dos mesmos, verificando-se que o processo não é capaz de produzir segundo as suas especificações técnicas. De seguida iniciou-se a Fase 2 para os diferentes processos. O objetivo da Fase 2 do *SPC* é a monitorização dos processos de produção, e para a sua aplicação.

Tal como para a Fase 1, nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo para as Volume de água nas garrafas de 1,5L verde em PET sendo que nos anexos VIII e IX encontram-se presentes os resultados para as restantes dimensões da garrafa verde, para os quais o procedimento implementado foi idêntico. Sendo o objetivo nesta fase a monitorização do processo, à medida que os dados vão sendo recolhidos vão sendo construídas as cartas de controlo \bar{X} e R , para que caso seja detetada alguma causa especial de variação as medidas necessárias à sua correção possam ser tomadas atempadamente.

Terminada a implementação da Fase 2, as cartas de controlo obtidas para o Volume de água nas garrafas de 1,5L verde em PET encontram-se nas figuras Figura 4.12 e Figura 4.13.

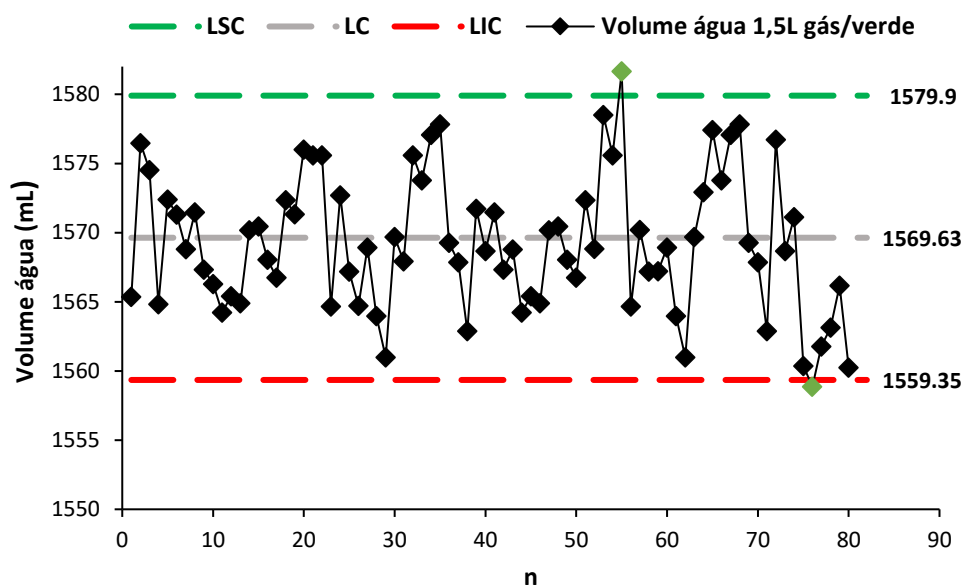


FIGURA 4.12 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA FASE 2 – VOLUME ÁGUA 1,5L VERDE

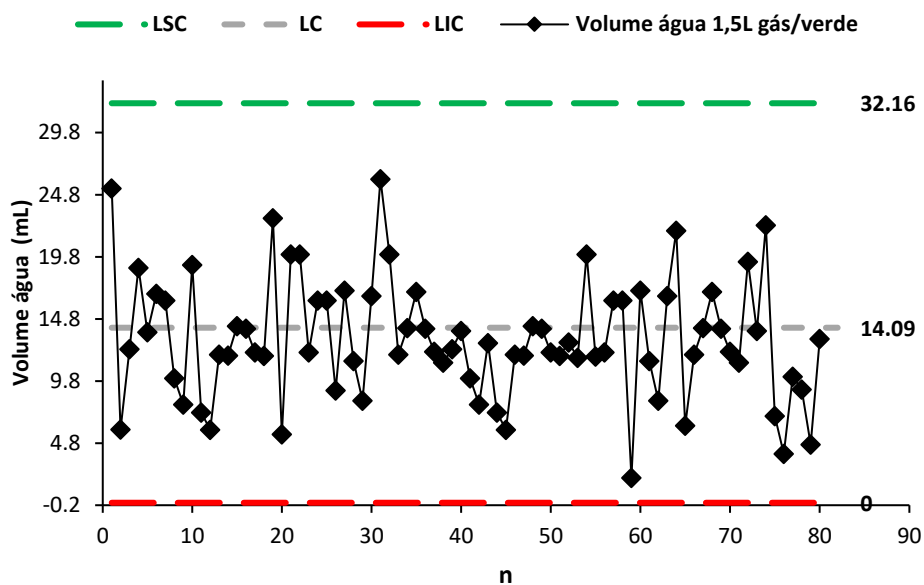


FIGURA 4.13 - CARTA DE CONTROLO R FASE 2 – VOLUME ÁGUA 1,5L VERDE

Tendo em conta a regra 1, número de pontos fora de controle, verificou-se que a primeira causa especial de variação verificou-se na amostra 55, e a segunda causa especial de variação na amostra 76 ambas na carta das \bar{X} . A causa deveu-se no primeiro ponto ao excesso de água e no segundo pouco menos água. Os responsáveis forma alertados para esta situação, para que nas próximas medições não se verificasse a mesma situação.

4.6.4. CONTROLO DA QUALIDADE FILME RETRÁCTIL - LINHA PET

Para fazer o controlo da qualidade do filme retráctil uma vez que existem diferentes tipos de produtos a embalar numa mesma máquina para todos os produtos em PET, decidiu-se utilizar as cartas de controlo do tipo Z_X e W_{MR} . Para poder construir este tipo de cartas é necessário ter a média e o desvio-padrão do processo para cada produto a embalar na referida máquina. Para tal vão ser construídas cartas de observações individuais e amplitudes móveis para cada produto e posteriormente dar início ao controlo estatístico da massa de filme retráctil usada no embalamento através das cartas Z_X e W_{MR} .

- **Carta X e MR**

Após recolhas das amostras de cerca de um número diferenciado, sendo que o mínimo de amostras utilizada foi de $n = 68$, com dimensão de $n = 1$, para a implementação das cartas de controlo na fase 1, procedeu-se à construção das cartas X e MR . Construiu-se este tipo de cartas, uma vez que as amostras têm dimensão de $n = 1$. Nesta secção será apenas apresentado o desenvolvimento das cartas de controlo para a característica da qualidade massa do retráctil referente ao produto “1,50L Gás – Pack 4”, do produto acabado da linha de PET. No anexo X encontram-se presentes os resultados para os restantes filmes da linha PET no qual o procedimento implementado foi idêntico.

A carta X e MR referente ao produto “1,50L Gás – Pack 4”, do produto acabado da linha de PET encontra-se nas Figura 4.14 e Figura 4.15.

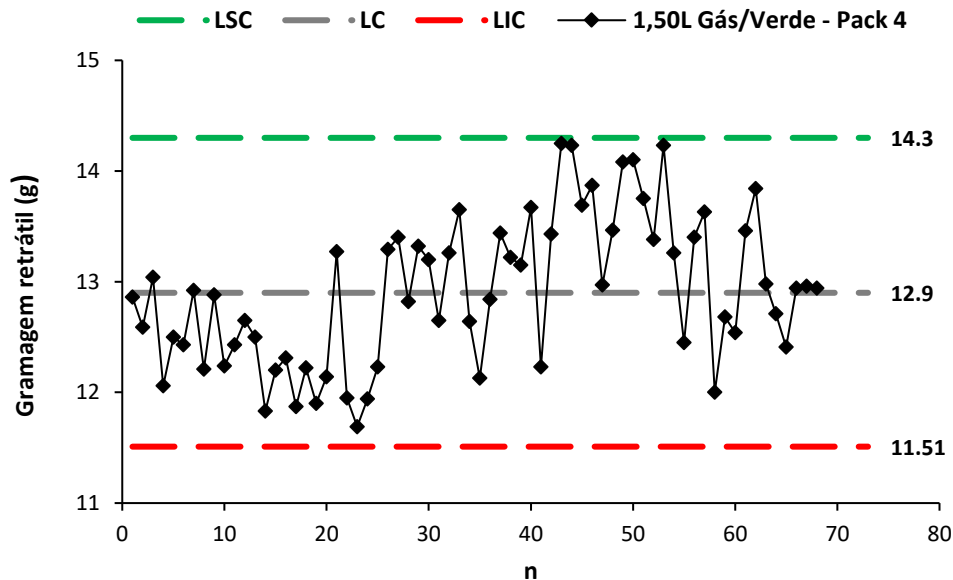


FIGURA 4.14 – CARTA DE CONTROLO X FASE 1 – MASSA RETRÁCTIL 1,50L GÁS – PACK 4 PET

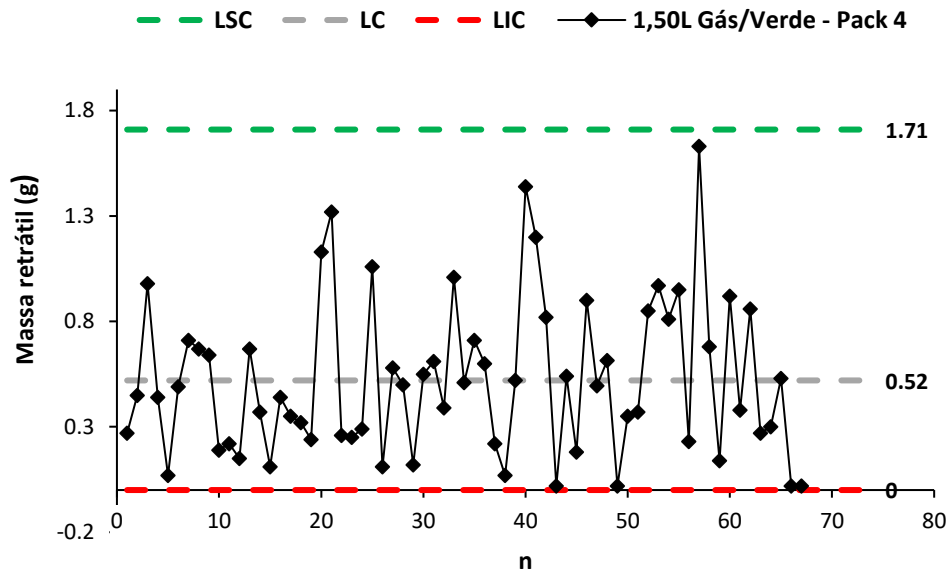


FIGURA 4.15 – CARTA DE CONTROLO MR FASE 1 – MASSA RETRÁTIL 1,50L GÁS – PACK 4 PET

Analisando as cartas obtidas, verifica-se que todos os pontos estão sob controlo estatístico nas cartas \bar{X} e MR . Com o processo sob controlo estatístico foi possível determinar a média e o desvio-padrão do processo.

4.6.4.1. VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES

Para a construção das cartas de observações individuais e amplitudes móveis é muito importante verificar a normalidade das observações, como tal foi verificado se o pressuposto relativo à normalidade dos dados também se verifica. Para tal recorre-se ao teste de *Kolmogorov-Smirnov*, enunciado no capítulo 2, com o auxílio do Minitab 18 obteve-se a Figura 4.16. No anexo XI encontra-se a verificação da normalidade para os restantes produtos.

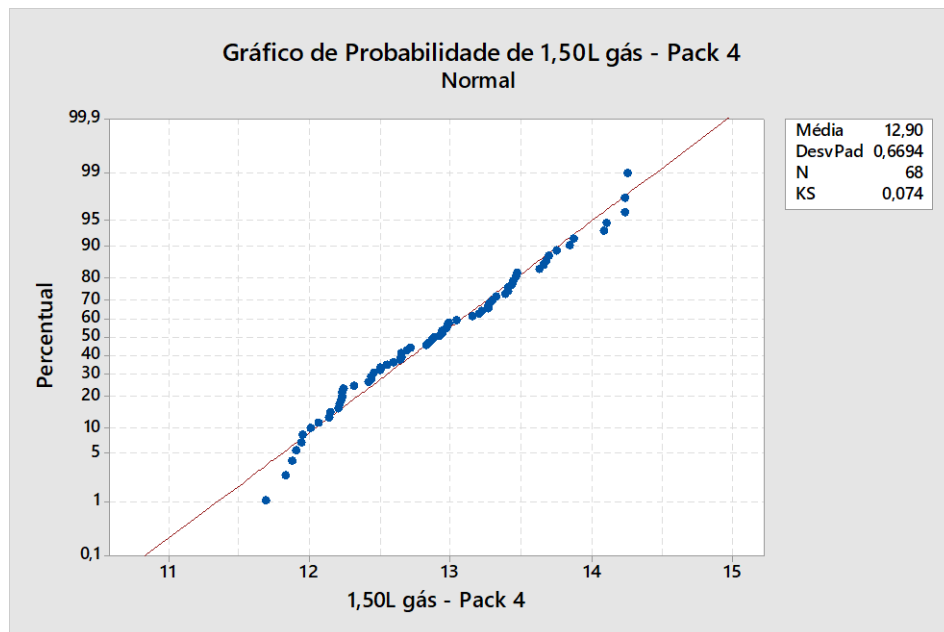


FIGURA 4.16 – VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES

4.6.4.2. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO GRAMAGEM RETRÁTIL – LINHA PET

Assumindo que os dados recolhidos são independentes, confirmam-se todos os pressupostos necessários à implementação das cartas de controlo como ferramenta do controlo estatístico de processos. Assim sendo, é agora possível proceder à estimação dos parâmetros dos processos, bem como à análise da capacidade dos mesmos. A estimação dos parâmetros de determinado processo pode ser efetuada com base nas equações 3.32 e 3.33 apresentadas no capítulo 3. Para o caso do Massa do retrátil – “1,50L Gás – Pack 4, (Água gaseificada)” estes serão:

$$\hat{\mu} = \bar{X} = 12,90$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0,46$$

Para determinar a capacidade do processo considera-se a equações 3.35, 3.36, 3.37 e 3.38 do capítulo 3, visto que estamos perante produtos com especificações bilaterais. Sendo o limite inferior de especificação do Gramagem do retrátil – “1,50L Gás – Pack 4, (Água gaseificada)” de 11g e o limite superior de especificação de 15g, o seu índice de capacidade $(C_{pk})_I$ e $(C_{pk})_S$ é então, tal como apresentado nas seguintes equações:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{3\sigma} = \frac{15 - 11}{6 \times 0,46} = 1,44$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} = \frac{15 - 12,90}{3 \times 0,46} = 1,51$$

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} = \frac{12,90 - 11}{3 \times 0,46} = 1,37$$

$$C_{pk} = \min ((C_{pk})_I ; (C_{pk})_S) = \min (1,37); (1,51) = 1,37$$

O mesmo raciocínio foi utilizado para os restantes produtos, o que resultou na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - RESUMO DA ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO

	1,5L Pack 6	0,50L Pack 12	0,33L Pack 24	0,25L gás Pack 6	0,50L gás Pack 6	1,50L gás Pack 4
$\hat{\sigma}$	0,37	0,35	0,79	0,16	0,18	0,46
$\hat{\mu}$	21,18	17,69	22,82	5,65	9,18	12,90
LSE	23	19	27	7	11	15
LIE	20	15	20	5	8	11
C_p	1,34	1,89	1,48	2,05	1,77	1,44
$(C_{pk})_S$	1,63	1,24	1,77	2,76	2,15	1,51
$(C_{pk})_I$	1,05	2,55	1,19	1,33	1,40	1,37

Analisando a Tabela 4.10 verifica-se que existem dois produtos com valor mínimo entre o $(C_{pk})_S$ e o $(C_{pk})_I$ que são marginalmente capazes de cumprir com a especificação técnica, 0,33L pack 24 e 1,5L pack de 6, pois $1,05 < 1,33$ e $1,19 < 1,33$. Os restantes processos são capazes de cumprir com as especificações técnicas.

No entanto para a característica 0,50L pack 12 verifica-se que o $(C_{pk})_I > (C_{pk})_S$, deste modo o processo está descentrado para o lado superior de especificação, ou seja a média do processo é superior ao valor alvo de especificação.

Para os restantes packs o $(C_{pk})_I < (C_{pk})_S$, logo o processo está descentrado para o lado inferior de especificação, pois a média do processo é inferior ao valor alvo de especificação.

- **Carta Z_X e W_{MR}**

Depois de aplicada a Fase 1 do *SPC*, na qual se verificou a estabilidade nos processos de produção, estimou-se os parâmetros dos mesmos. De seguida iniciou-se a Fase 2 para os diferentes processos com a aplicação das cartas de controlo Z_X e W_{MR} . O objetivo da Fase 2 do *SPC* é a monitorização dos processos de produção.

Sendo o objetivo nesta fase a monitorização do processo, à medida que os dados vão sendo recolhidos vão sendo construídas as cartas de controlo Z_X e W_{MR} , para que caso seja detetada alguma causa especial de variação as medidas necessárias à sua correção possam ser tomadas atempadamente.

Foi efetuado o teste de Bartlet, com recurso ao GraphPad, para verificar a homogeneidade de variâncias para os vários tipos de produto tendo-se concluído que as variâncias são significativamente diferentes, para um nível de significância de 5% (Anexo XII). Desta forma ficou excluída a possibilidade de utilizar cartas de diferenças tendo-se optado pela utilização das cartas Z_X e W_{MR} .

Terminada a implementação da Fase 2, as cartas de controlo obtidas para a gramagem do filme retrátil em linha PET encontram-se nas Figura 4.17 e Figura 4.18.

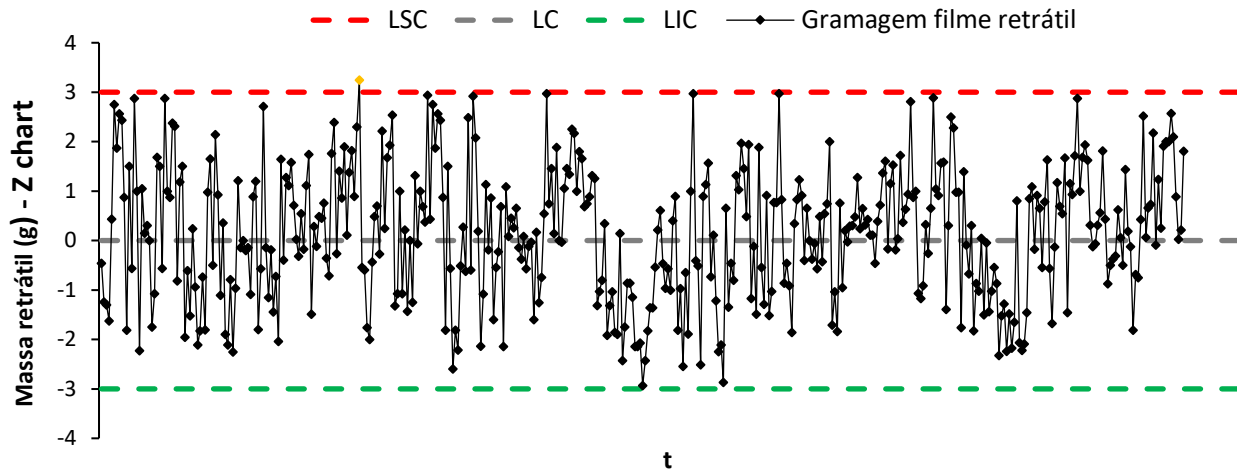


FIGURA 4.17 – CARTA DE CONTROLO Z_x LINHA DE PRODUÇÃO PET

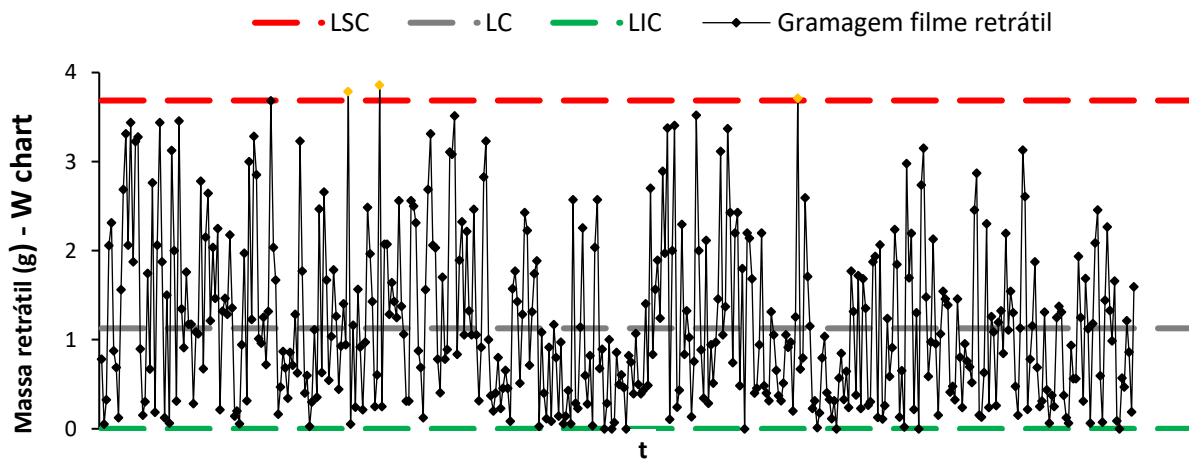


FIGURA 4.18 – CARTA DE CONTROLO W_{MR} LINHA DE PRODUÇÃO PET

A primeira causa especial de variação verificou-se na amostra 103 na carta Z , devido ao excesso de retrátil colocado no equipamento. Os trabalhadores foram então alertados para esta situação, para que nas próximas pesagens não se verificasse a mesma situação.

As outras causas especiais de variação verificaram-se nos pontos 103, 116 e 289 na carta W , devido a uma variabilidade excessiva na amostra recolhida. Mais uma vez os trabalhadores foram alertados sobre a situação verificada.

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSÕES

O principal objetivo do presente trabalho baseou-se na aplicação do controlo estatístico do processo numa empresa da indústria alimentar mais concretamente no setor de bebidas, a Empresa Águas do Vimeiro, S.A. (EAV). A empresa ciente da importância das técnicas e ferramentas de controlo e melhoria da qualidade tinha como objetivo implantar um conjunto de procedimentos e técnicas capazes de transmitir máxima confiança de que um determinado nível de qualidade estava a ser alcançado ao mais baixo custo. As ferramentas que se decidiu utilizar constituem uma abordagem de suporte à redução da variabilidade e à monitorização do desempenho do processo de engarrafamento das águas minerais e águas de consumo humano com o objetivo de proporcionar a estabilidade dos processos e melhorar a sua capacidade através da redução da sua variabilidade.

Em primeiro lugar. Procedeu-se à caracterização da empresa, na qual foi descrita a sua evolução, a sua estrutura, o seu processo produtivo e a sua atuação sobre a qualidade, por forma a conhecer a empresa em toda a sua amplitude e obter conhecimentos aprofundados sobre a sua atividade. O processo de produção de água mineral natural, água mineral natural gaseificada e água de mesa foram descritos de forma detalhada e fez-se o levantamento do controlo efetuado por identificação dos vários pontos de controlo.

Introduziu-se o tema SPC como importante metodologia no apoio à qualidade face ao conjunto de ferramentas de resolução de problemas a usar para controlo e melhoria da qualidade. Efetuou-se o enquadramento teórico sobre o controlo estatístico do processo (SPC), tendo numa primeira fase como base o recurso a livros científicos dos mais diversos autores, e posteriormente a artigos científicos publicados em revistas. Das várias ferramentas utilizadas no controlo estatístico de processos verificou-se que as ferramentas tecnicamente mais sofisticadas do SPC são as cartas de controlo. Foram apresentados no trabalho os princípios básicos para a construção das cartas de controlo de variáveis usadas no presente trabalho bem como as regras a usar para a sua interpretação. Também se explicou a forma de implementação das mesmas com uma primeira fase de recolha e análise dos dados com vista à determinação dos limites de controlo experimentais e uma segunda fase de monitorização dos processos. A análise da capacidade dos processos foi explicada do ponto de vista dos índices de capacidade a usar muito úteis para verificar se os processos são capazes de cumprir com as especificações técnicas.

Do ponto de vista experimental começou por se fazer um diagnóstico ao trabalho de controlo da qualidade normalmente efetuado pela EAV no sentido de identificar os principais problemas e situações a corrigir bem como os principais tipos de cartas de controlo a usar para monitorização. Todas as características e gamas de produtos poderiam ser estudados, sendo que a escolha recaiu sobre as características que foram selecionadas face à análise do histórico dos dados existentes na organização, das reclamações dos clientes que envolvem as características da qualidade estudadas, bem como dos problemas da qualidade existentes, tais como a incorreta utilização das cartas de controlo, falta de acompanhamento dos resultados das cartas de controlo e inexistência de estudos de capacidade do processo.

Por análise do processo geral de produção em linha PET e vidro, as características que foram exploradas foram o volume de água, CO₂ em linha de vidro, CO₂ em linha de PET no que diz respeito à linha de enchimento e a massa do filme retrátil no que toca ao embalamento (na fase de paletização e armazenagem)

A EAV já utilizava cartas de controlo de variáveis \bar{X} e S nas características da qualidade na fase de enchimento PET e vidro, as quais se veio a constatar não serem as mais adequadas face à dimensão amostral que estava a ser utilizada (i.e. $n=4$) tendo-se substituído este tipo de cartas pelas cartas de controlo do tipo medias e amplitudes. A empresa também já utilizava as cartas de controlo do tipo \bar{X} e MR na fase de embalamento PET e vidro. Neste sentido foi decidido passar a utilizar as cartas de controlo do tipo Z_X e W_{MR} para controlar a quantidade de retrátil a usar no embalamento utilizando assim apenas uma carta em vez das várias cartas anteriormente utilizadas. Neste sentido a empresa pôde reduzir muito a complexidade usada no controlo da qualidade pois com uma única carta pode-se controlar o processo sem a necessidade de ter uma carta por tipo de produto. Após levantamento de todo o histórico decidiu-se contruir as cartas \bar{X} e R para a fase de enchimento para a fase 1 e 2, já para a fase de embalamento aplicou-se na fase 1 as cartas \bar{X} e MR e na fase 2 as cartas Z_X e W_{MR} .

Os pressupostos de construção das cartas de controlo foram satisfeitos e especial cuidado existiu na verificação da distribuição normal especialmente para as observações a utilizar na construção das cartas de observações individuais onde essa questão se coloca com mais pertinência uma vez que nas cartas de médias essa questão não tem tanta importância em função do que se pode constatar com o teorema do limite central, tal como explicado no enquadramento teórico do trabalho. . Com os processos sob controlo estatístico foram feitos estudos de capacidade dos mesmos e calcularam-se os índices de capacidade dos processos, pelos quais se constatou que nem todos os processos considerados são capazes de cumprir com as especificações Relativamente à característica da qualidade CO₂ linha de PET o processo demonstrou ser capaz de cumprir com as especificações técnicas, a característica CO₂ linha de vidro demonstrou ser marginalmente capaz de cumprir com as especificações técnicas. Já a característica da qualidade volume de água em garrafas verdes (gaseificada) o processo demonstrou não ser capaz de cumprir com as especificações técnicas em nenhum formato, estando no entanto o problema relacionado com a localização da média do processo e não com a variabilidade pois observando a variabilidade pode-se constatar que a variabilidade do processo é muito menor que o intervalo de especificação e por isso a resolução do problema é relativamente simples bastando centrar a média ao valor de especificação.

Relativamente à característica da qualidade referente à etapa do embalamento o processo foi marginalmente capaz para os produtos “1,5L Pack 6”, “0,33L Pack 24” e 0,50 Pack 12, para os restantes formatos o processo foi capaz de cumprir com as especificações técnicas.

Em relação à característica da qualidade “volume de água” verificou-se que a garrafa “0,50L verde PET” apresenta uma variabilidade muito elevada não sendo capaz de cumprir com as especificações técnicas. A possível causa poderá estar relacionada com a velocidade de enchimento ou falta de afinação da máquina para o tipo de produto, assim recomenda-se que as causas sejam investigadas para a resolução deste problema.

Averiguada a capacidade de todos os processos e estimados os seus parâmetros procedeu-se à monitorização dos processos. Nesta fase desde foram detetadas causas especiais de variação na carta \bar{X} para a característica da qualidade volume de água 1,5L verde para duas amostras, também na carta Z_W detetou-se causas especiais de variação, alertando-se os trabalhadores para o gasto excessivo de filme retrátil.

Relativamente ao principal objetivo deste trabalho, a aplicação do SPC na empresa, verifica-se que nem todos os processos produtivos analisados apresentam o nível de qualidade desejada no que à sua capacidade de produzir de acordo com as suas especificações técnicas. No entanto os principais problemas são de localização e de resolução não muito complicada.

Este trabalho cumpriu com os principais objetivos que estavam preconizados pois foi possível diagnosticar algumas situações de simples resolução e implementar o controlo estatístico do processo e dessa forma poder rapidamente detetar a ocorrência de causas assinaláveis e de situações a corrigir de forma que a investigação a fazer nos processos e as ações corretivas a desenvolver pudessem ser tomadas antes de se ter produzido produto fora das suas especificações técnicas.

Constatou-se também que, depois de tomadas as devidas ações corretivas, as causas especiais de variação na monitorização do processo foram atenuadas. Desta forma a empresa pode ser mais eficiente e resolver os seus problemas com maior benefício e menor custo.

Relativamente ao R & R verificou-se que tanto os operadores como a método de medição influenciam os resultados, deste modo a implementação do controlo estatístico do processo não poderá ser aplicado para a característica “altura da garrafa” até que as causas de variação sejam eliminadas.

Assim, com o trabalho realizado acredita-se que a empresa tem agora um conjunto de ferramentas da qualidade que lhe permite poder atuar de uma forma preventiva antes dos problemas ocorrerem e está mais desperta para a utilização das várias ferramentas de controlo estatístico do processo

5.2. PERSPETIVAS FUTURAS

A aplicação do SPC na EAV permitiu verificar que a empresa necessita de algumas melhorias consegue para produzir dentro das especificações técnicas a que se propõe. No entanto, devido à alta variabilidade inerente aos seus processos produtivos, e sendo na linha PET que ocorre a produção de toda a diversidade de produtos este fator poderá influenciar a capacidade do processo, pois o número de vezes que se troca os produtos na linha é elevado.

Assim sendo, recomenda-se à empresa a implementação de medidas que passem por reduzir a variabilidade nos seus processos, principalmente no volume de água.

O dado de controlo do CO₂ em linha deverá ser inserido de imediato pelos operadores de forma a tomar medidas de imediato, caso eventualmente ocorra alguma causa de variação.

O estudo realizado neste trabalho foi a primeira fase de diagnóstico e correção de causas de variação, mas recomenda-se a análise de pequenos desvios no processo e que para tal é importante utilizar outro tipo de cartas, tais como as do tipo EWMA e as cartas CUSUM.

Sugere-se também o controlo estatístico do processo para as etapas da zona técnica e captações por forma a controlar os mesmos.

Outra medida que seria interessante implementar era a implementação do diagrama de causa-efeito ou o diagrama de pareto para tratamento de não conformidades.

BIBLIOGRAFIA

- Abdul Halim Lim, S., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., & Arshed, N. (2015). Towards a conceptual roadmap for Statistical Process Control implementation in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 44(1), 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.002>
- Álvarez, E., Moya-Fernández, P. J., Blanco-Encomienda, F. J., & Muñoz, J. F. (2015). Methodological insights for industrial quality control management: The impact of various estimators of the standard deviation on the process capability index. *Journal of King Saud University - Science*, 27(3), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.02.002>
- AS #7 FERRAMENTAS DA #QUALIDADE | LinkedIn. (n.d.). Retrieved April 24, 2020, from <https://www.linkedin.com/pulse/7-ferramentas-da-qualidade-túlio-martins/>
- Atkins, P., & De Paula, J. (2014). Physical chemistry Thermodynamics, Structure, and Change. In *Journal of Chemical Physics*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.82.144105>
- Besterfield, D. H. (2009). *Quality control*. Pearson/Prentice Hall.
- Burr, I. J. (1967). *The Effect of Nonnormality on Constants for x-bar and R Charts* (Vol.23(11); I. Q. Control, Ed.).
- Byun, J.-H. (1998). A Review of: “ Quality Control - 5th Edition ” Dale H. Besterfield Prentice-Hall, New Jersey, 1998, ISBN 0-13-632571-8 . *IIE Transactions*, 30(6), 575–575. <https://doi.org/10.1080/07408179808966499>
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is Free* (I. McGraw-Hill, Ed.). New York.
- Chang, T. C., and F. F. Gan (1995). “A Cumulative Sum Control Chart for Monitoring Process Variance,” *Journal of Quality Technology*, Vol. 27(2), pp. 109–119.
- de Mast, J. (2008). A History of Industrial Statistics and Quality and Efficiency Improvement. *Statistical Practice in Business and Industry*, 15–27. <https://doi.org/10.1002/9780470997482.ch2>
- Deitenbeck, W. H. (1995). Introduction to statistical process control. In *Healthcare facilities management series*.
- Deming, W. E. (2012). *The Essential Deming: Leadership Principles from the Father of Quality* (1st ed.; McGraw-Hill Education, Ed.).
- Deming, W. E. (William E. (2000). *The new economics : for industry, government, education*. MIT Press.

- Doty, L. A. (1996). *Statistical process control*. Industrial Press.
- Electric, W. (1965). Statistical Quality Control Handbook. In *The British Journal of Psychiatry* (Vol. 111).
<https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Feigenbaum, A. V. (1983). The Quality of Products and Services and Total Quality Control. In J. Robinson & T. L. Worth (Eds.), *Total Quality Control* (pp. 3–26). McGraw-Hill, Inc.
- Feigenbaum, A. V. (1981). *Total Quality Control*. McGraw-Hill, Inc., (3º Edição).
- Garvin, D. A. (1987). *Competing on the Eight Dimensions of Quality*.
- Hoyer, R. W., & Hoyer, B. B. Y. (2011). what_is_quality.pdf. *Quality Progress*.
- Juran, J. (1998). Juran's Quality Handbook. In McGraw-Hill Professional (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (5º).
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION. In *JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION*.
- Kotz, S., & Johnson, N. L. (2017). Process capability indices. *Process Capability Indices*, 4065, 1–212.
<https://doi.org/10.1201/9780203741948>
- Lewis, R. G., & Smith, D. H. (1994). *Total quality in higher education*. St. Lucie Press.
- Liboreiro, C. (2013). Quality Management: Important Aspects for the Food Industry. *Food Industry*.
<https://doi.org/10.5772/53162>
- Maguad, B. (2006). The modern quality movement: Origins, development and trends. *Total Quality Management and Business Excellence*, 17(2), 179–203.
<https://doi.org/10.1080/14783360500450608>
- Mitra, A. (2002). Statistical Quality Control: Statistical Quality Control. *Technometrics*, 44(4), 397–398.
<https://doi.org/10.1198/tech.2002.s75>
- 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. (2005). *Introduction to Stastical Quality Control* (6º; I. John Wiley & Sons, Ed.).
- Nelson, L. S. (1985). Interpreting Shewhart \bar{X} Control Charts . *Journal of Quality Technology*, 17(2), 114–116. <https://doi.org/10.1080/00224065.1985.11978945>
- Nelson, L. S. (2018). *The Shewhart Control Chart — Tests for Special Causes by The Shewhart Control Chart-*

Tests for Special Causes. 4065. <https://doi.org/10.1080/00224065.1984.11978921>

Parlar, M., & Wesolowsky, G. O. (1999). Specification limits, capability indices, and process centering in assembly manufacture. *Journal of Quality Technology*, 31(3), 317–325. <https://doi.org/10.1080/00224065.1999.11979930>

Pereira, Z., & Requeijo, J. (2008). *QUALIDADE: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos* (FCT). Retrieved from <https://www.bertrand.pt/livro/qualidade-planeamento-e-controlo-estatistico-de-processos-j-f-g-requeijo/213255>

Pires, A. (2016). *Sistemas de Gestão de Qualidade 2ed* (2nd ed.; Edições Silabo, Ed.). Retrieved from https://www.fnac.pt/Sistemas-de-Gestao-de-Qualidade-2ed-Antonio-Ramos-Pires/a1003864?gclid=Cj0KCCQjw2K3rBRDiARIsAOF5W_6fgRduJNBk2JssENad7INzSOqTuCZMFTSnprjUWejnbjxW_vDBaOoaAqblEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds

Quesenberry, C. P. (1997). *SPC methods for quality improvement*. Retrieved from https://books.google.pt/books/about/SPC_methods_for_quality_improvement.html?id=ddxTAAAMAAJ&redir_esc=y

Read, S. L., & Kume, H. (1989). Statistical Methods for Quality Improvement. In *Technometrics* (Vol. 31). <https://doi.org/10.2307/3556152>

Rinehart, G. (1993). *Quality Education*. Wisconsin, ASQ Quality Press.

Sander, R. (2015). Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(8), 4399–4981. <https://doi.org/10.5194/acp-15-4399-2015>

Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product* (I. D. Van Nostrand Company, Ed.). New York.

Schilling, E. G., and P. R. Nelson (1976). "The Effect of Nonnormality on the Control Limits of \bar{x} Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 8(4), pp. 183–188.

Taguchi, G. (2004). *Taguchi's Quality Engineering Handbook* (1st ed.; Wiley-Interscience, Ed.).

Thor, J., Lundberg, J., Ask, J., Olsson, J., Carli, C., Harenstam, K. P., & Brommels, M. (2007). Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review. *Quality and Safety in Health Care*, 16(5), 387–399. <https://doi.org/10.1136/qshc.2006.022194>

Woodall, W. H., Montgomery, D. C., Woodall, W. H., & Montgomery, D. (2018). *Research Issues and Ideas in Statistical Process Control* *Research Issues and Ideas in Statistical Process Control*. 4065. <https://doi.org/10.1080/00224065.1999.11979944>

Woodall, W. H., Spitzner, D. J., Montgomery, D. C., & Gupta, S. (2004). Using control charts to monitor

process and product quality profiles. *Journal of Quality Technology*, 36(3), 309–320.
<https://doi.org/10.1080/00224065.2004.11980276>

Xiao, X., Jiang, W., & Luo, J. (2019). Combining process and product information for quality improvement. *International Journal of Production Economics*, 207(May), 130–143.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.05.001>



ANEXOS

I. FATORES PARA CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO POR VARIÁVEL

Observations in Sample, n	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges						
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits					
	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	1.1284	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	


FIGURA 0.1 – FATORES PARA CONSTRUÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO (ADAPTADO: MONTGOMERY)


II. METODOLOGIA DE RECOLHA DE AMOSTRAS E DE ENSAIOS – PRODUTO ACABADO PET E VIDRO

1. Retirar aleatoriamente da linha, quatro garrafas de produto acabado, em intervalos de 1 hora, no caso de medição do CO₂, para as restantes características em intervalos de 2h;
2. Limpar a garrafa, para retirar o excesso de condensação;
3. Para medir o CO₂ agitar a garrafa e colocar no equipamento de medição (o equipamento fornece informação relativa à temperatura, pressão e CO₂ dissolvido);
4. Colocar a garrafa na balança;
5. Limpar a garrafa, para retirar o excesso de condensação;
6. Pesar o produto acabado (“P. Bruto”) na balança;
7. Colocar a garrafa no Torquímetro;
8. Pressionar no botão lateral esquerdo até levar o ponteiro a zero;
9. Medir o 1º aperto (“Ap. Ríg.”) – rodar a cápsula no sentido inverso dos ponteiros do relógio até a garrafa não acompanhar a cápsula;
10. Registar o valor da medição (lbs);
11. Pressionar no botão lateral esquerdo até levar o ponteiro a zero;
12. Medir o 2º aperto (“Ap. Ríg.”) - rodar a cápsula no sentido inverso dos ponteiros do relógio até quebrar um dos pontos do precinto;
13. Registar o valor da medição (lbs);
14. Abrir a garrafa;
15. Verificar a marisa, o cheiro e o paladar;
16. Retirar a água da garrafa;
17. Medir a altura da garrafa com o graminho de altura;
18. Registar o valor (mm) na folha de registo FR-LL06;
19. Secar a cápsula;
20. Pesar a cápsula (“P. Cáp.”);
21. Secar o exterior (limpar com papel) e o interior (colocar a garrafa invertida em cima de papel) da garrafa;
22. Pesar a garrafa (“P. Garrafa”).

III. EQUIPAMENTOS

TABELA 0.1 – LISTAGEM DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA AS MEDIÇÕES

Equipamento	Marca	Modelo	Erro	Imagem
Balança	AND	FZ-3000i	$3200 \pm 0,01g$	
Graminho	Insize	1151-600	$600 \pm 0,01mm$	
Torquímetro	Ernst	CH-8700	$30 \pm 1 lb.in$	

Equipamento	Marca	Modelo	Erro	Imagem
Medidor CO ₂	FTSystem	L.Sensor .CO2-V1.0	---	
Manómetro	INOXPA	232.50	---	
Termómetro	HANNA	CHECKTEMP® HI98501	±0,2	

IV. R&R – 1,5L GARRAFAS TRANSPARENTES PET

Relatório de R&R da Medição (ANOVA) para Medida

Nome do sistema de medição: Altura garrafas PET 1,5L transparent
 Data do estudo: 19/06/2019

Informado por: Vânia Gomes
 Tolerância: 0,01mm
 Div: Graminho

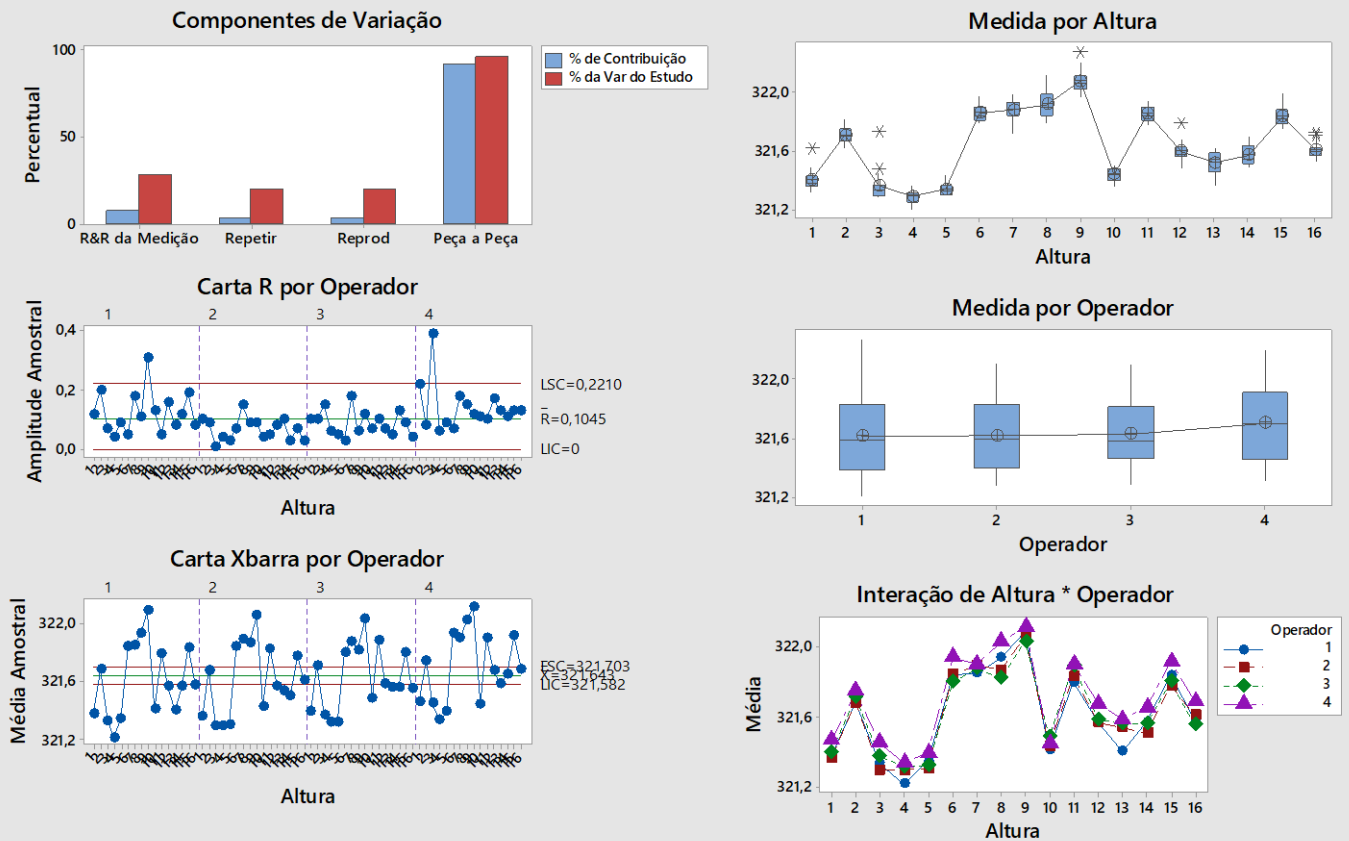


FIGURA 0.2 – R&R 1,5L GARRAFAS TRANSPARENTES PET - MINITAB

V. R&R – 0,50L GARRAFAS VERDE PET

Relatório de R&R da Medição (ANOVA) para Medida

Nome do sistema de medição: R&R altura 0,50L PET verde
Data do estudo:

Informado por:
Tolerância:
Div:

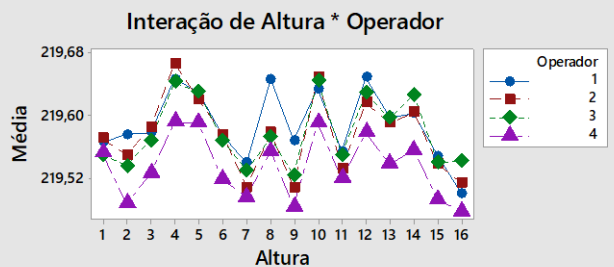
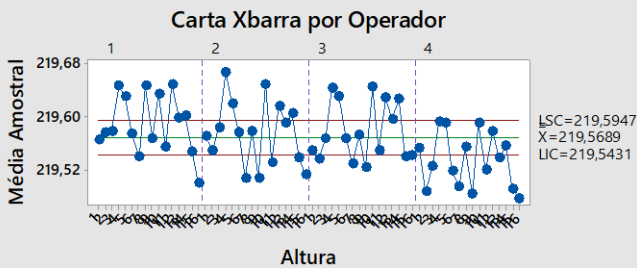
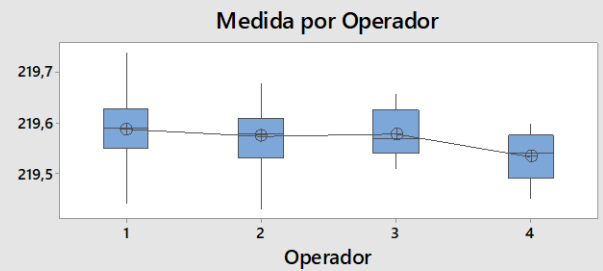
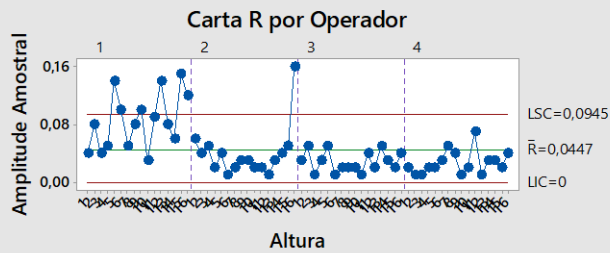
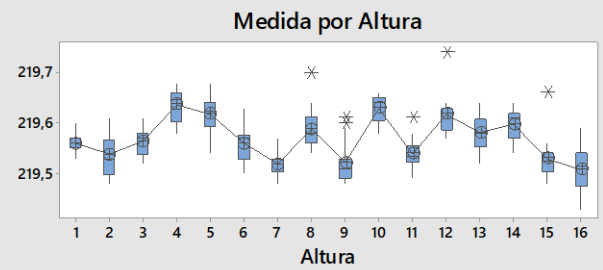
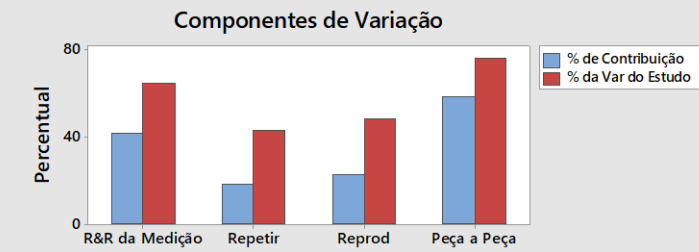


FIGURA 0.3 - R&R 0,5L GARRAFAS VERDES PET - MINITAB

VI. CARTAS DE CONTROLO \bar{X} E R CO₂ VIDRO LABORATÓRIO – FASE 1 E FASE 2

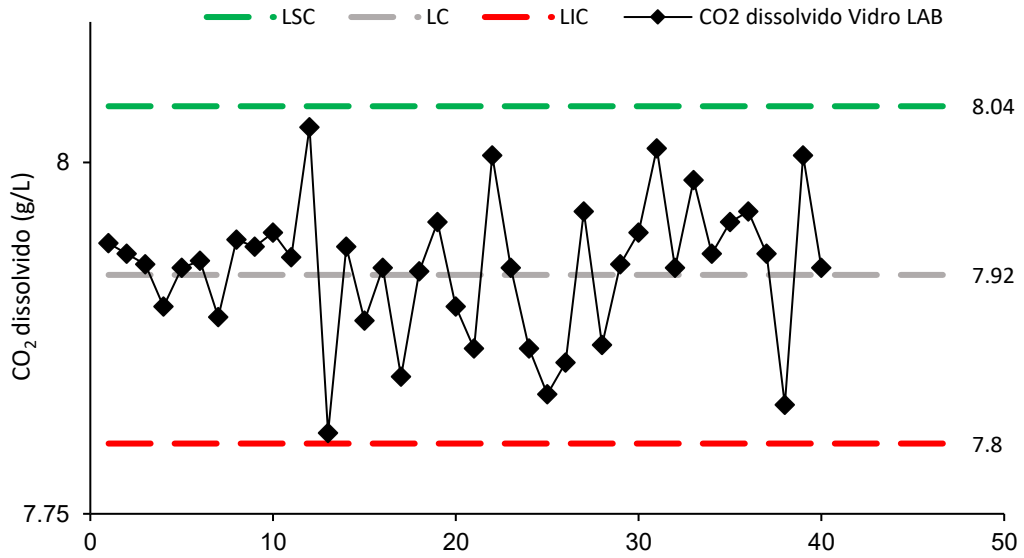


FIGURA 0.4 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA CO₂ VIDRO – LABORATÓRIO FASE 1

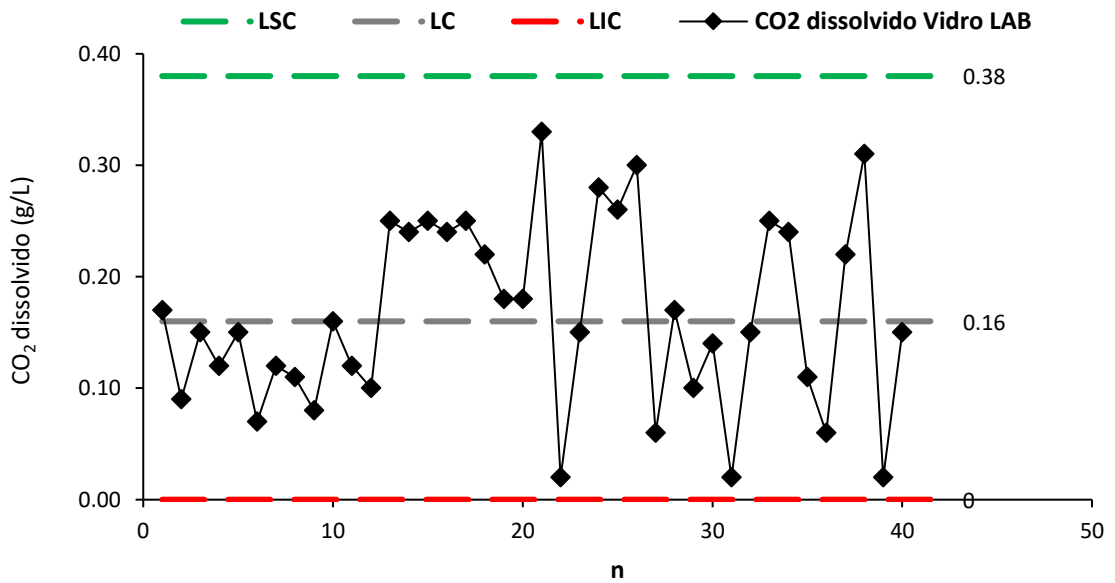


FIGURA 0.5 – CARTA DE CONTROLO R CO₂ VIDRO – LABORATÓRIO FASE 1

TABELA 0.2 – ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO

	CO ₂ Vidro Laboratório
$\hat{\sigma}$	0,08
$\hat{\mu}$	7,92
LSE	9,00
LIE	7,50
C_p	3,12
$(C_{pk})_S$	4,48
$(C_{pk})_I$	1,77

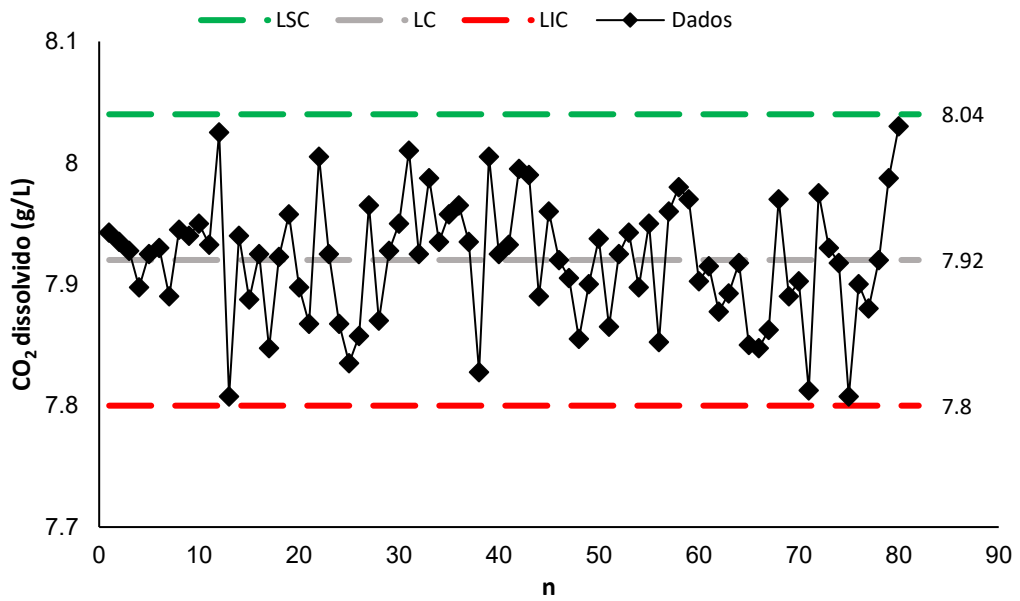


FIGURA 0.6 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA CO₂ VIDRO – LABORATÓRIO FASE 2

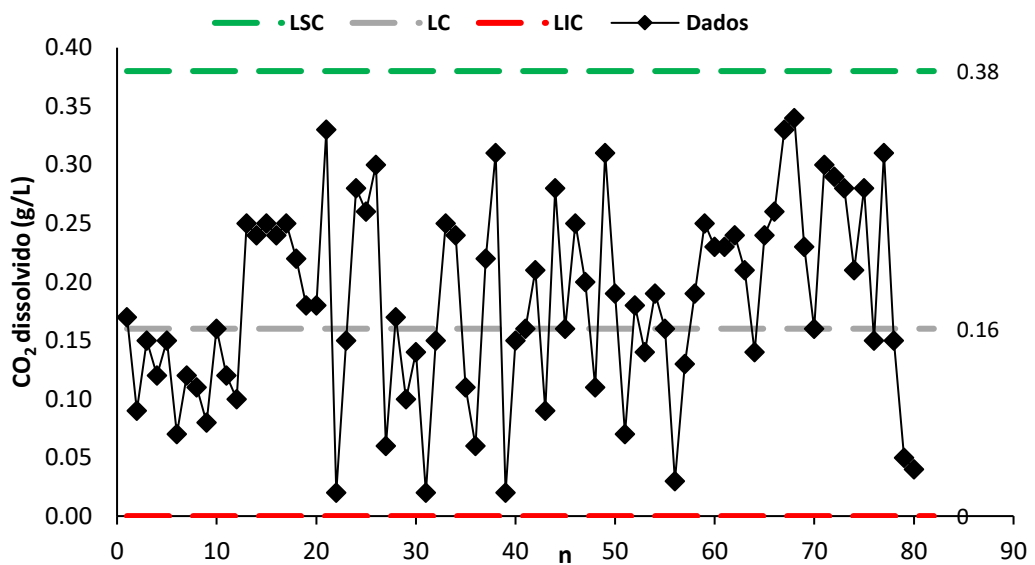


FIGURA 0.7 - CARTA DE CONTROLO R CO₂ VIDRO – LABORATÓRIO FASE 2

VII. CARTAS DE CONTROLO \bar{X} E R CO₂ PET LABORATÓRIO – FASE 1 E FASE 2

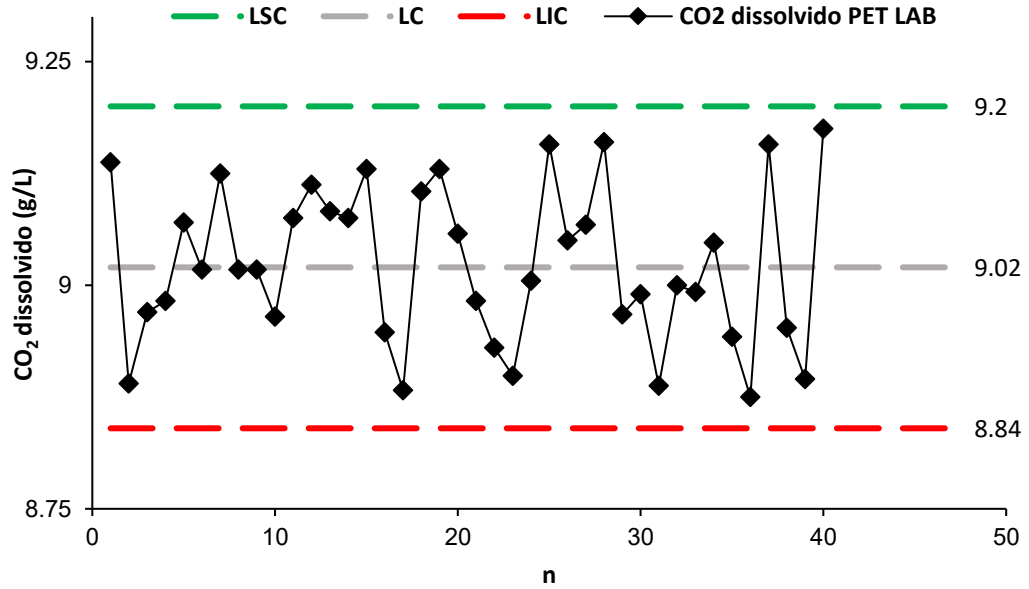


FIGURA 0.8 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA CO₂ PET- LABORATÓRIO FASE 1

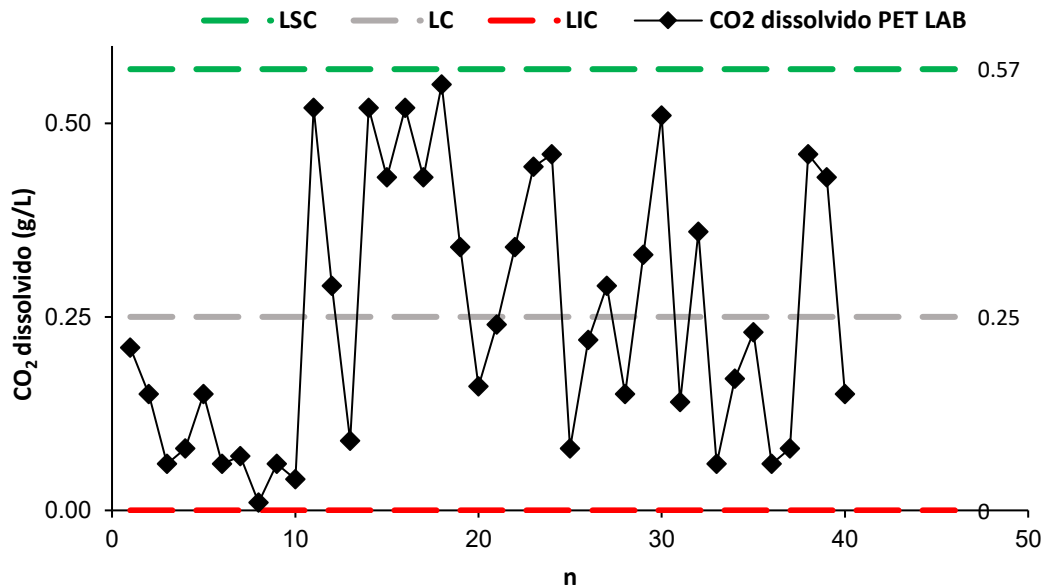


FIGURA 0.9 - CARTA DE CONTROLO R CO₂ PET- LABORATÓRIO FASE 1

	CO ₂ PET Laboratório
$\hat{\sigma}$	0,12
$\hat{\mu}$	9,02
LSE	10,00
LIE	8,50
C_p	2,07
$(C_{pk})_S$	2,69
$(C_{pk})_I$	1,44

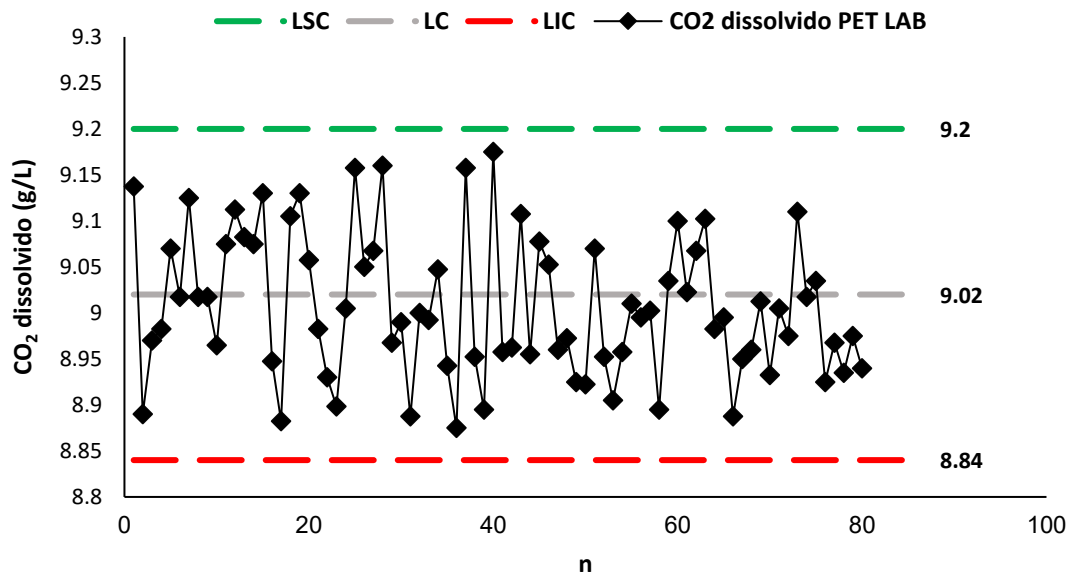


FIGURA 0.10 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA CO₂ PET- LABORATÓRIO FASE 2

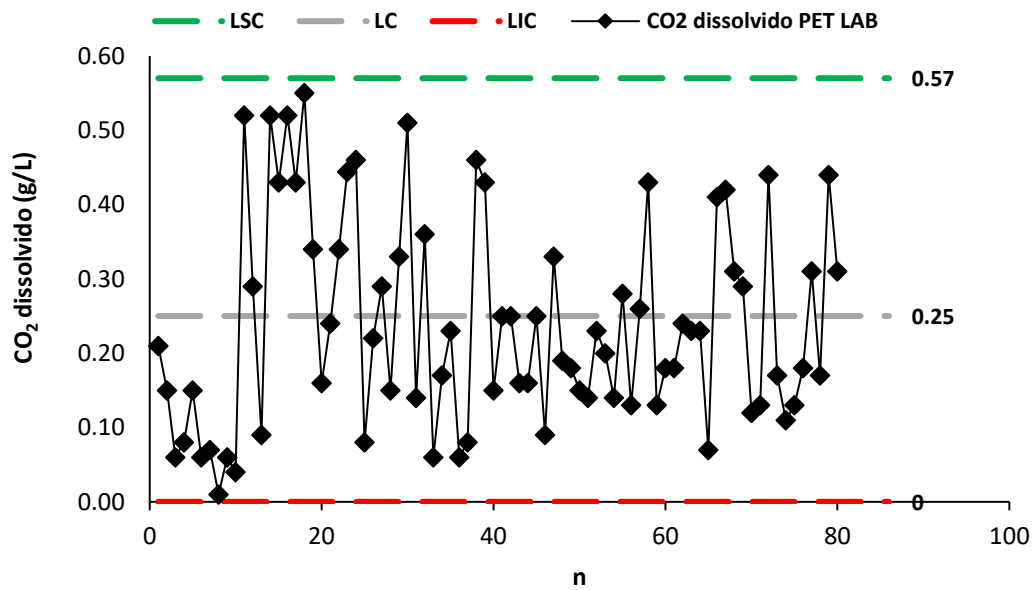


FIGURA 0.11 - CARTA DE CONTROLO R CO₂ PET- LABORATÓRIO FASE 2

VIII. CARTAS DE CONTROLO \bar{X} E R VOLUME ÁGUA - FASE 1

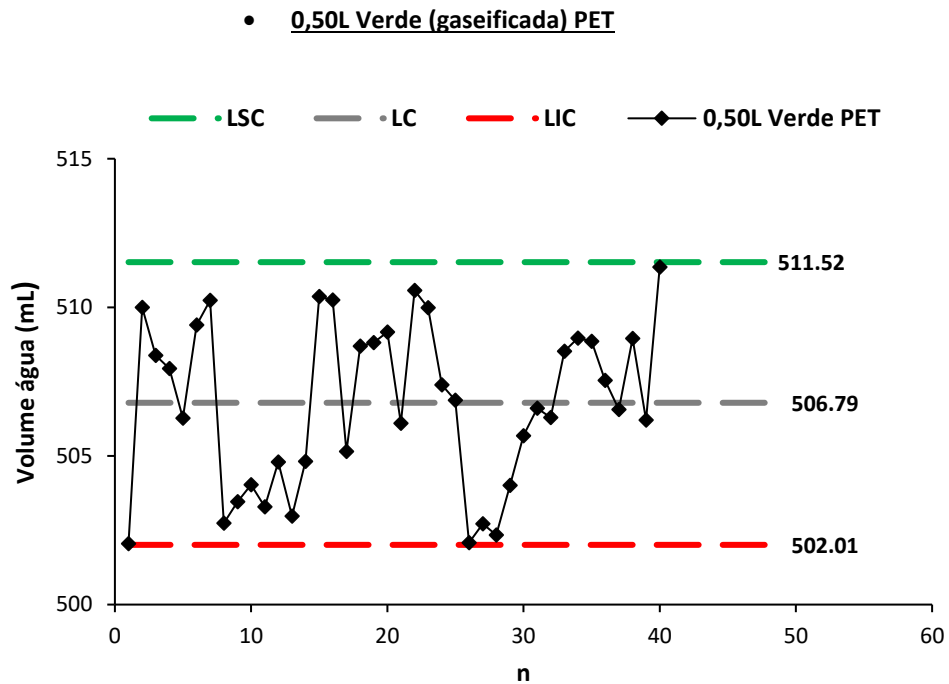


FIGURA 0.12 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA 0,50L VERDE PET- FASE 1

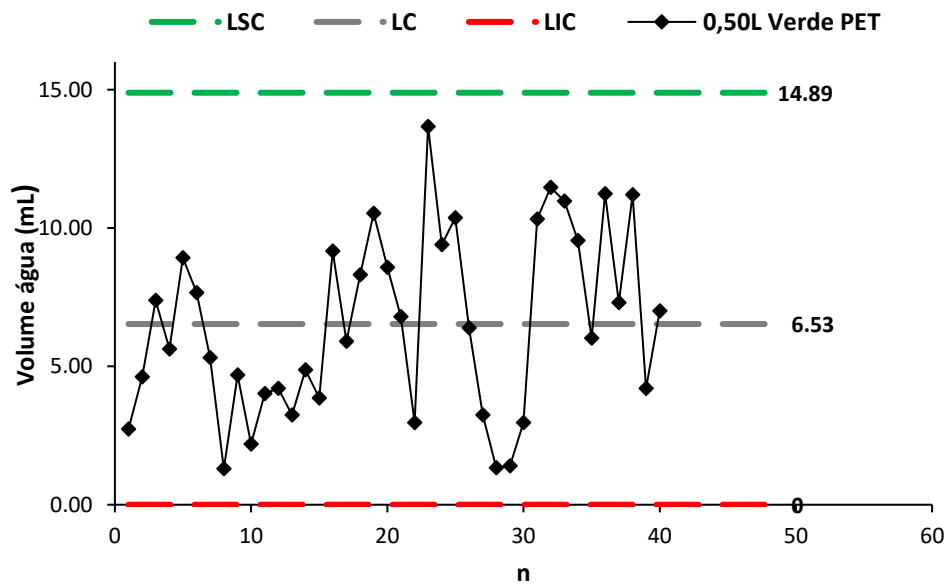


FIGURA 0.13 - CARTA DE CONTROLO R 0,50L VERDE PET- FASE 1

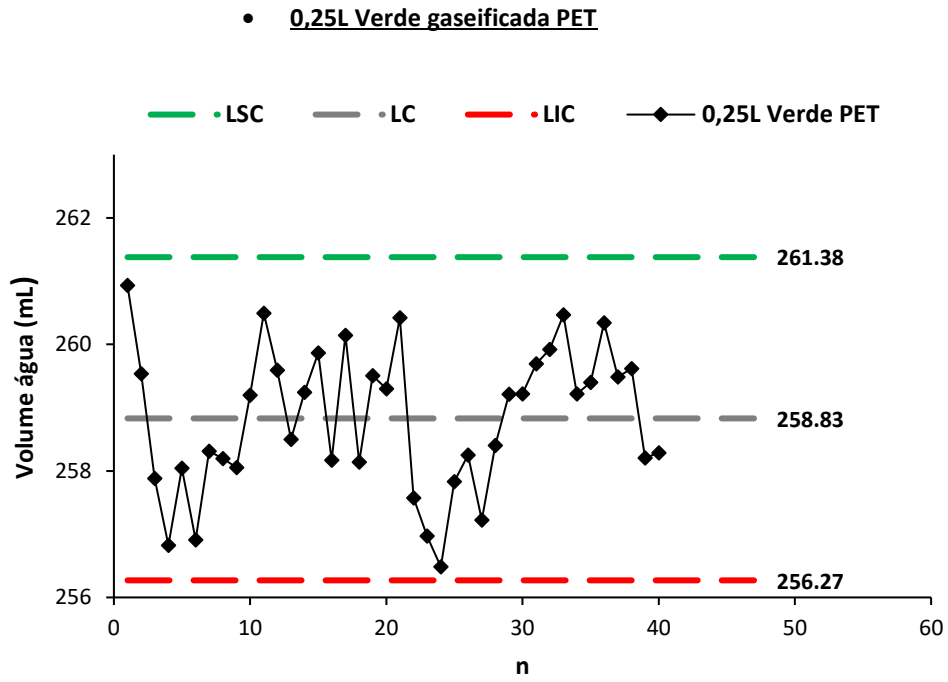


FIGURA 0.14 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA 0,25L VERDE PET- FASE 1

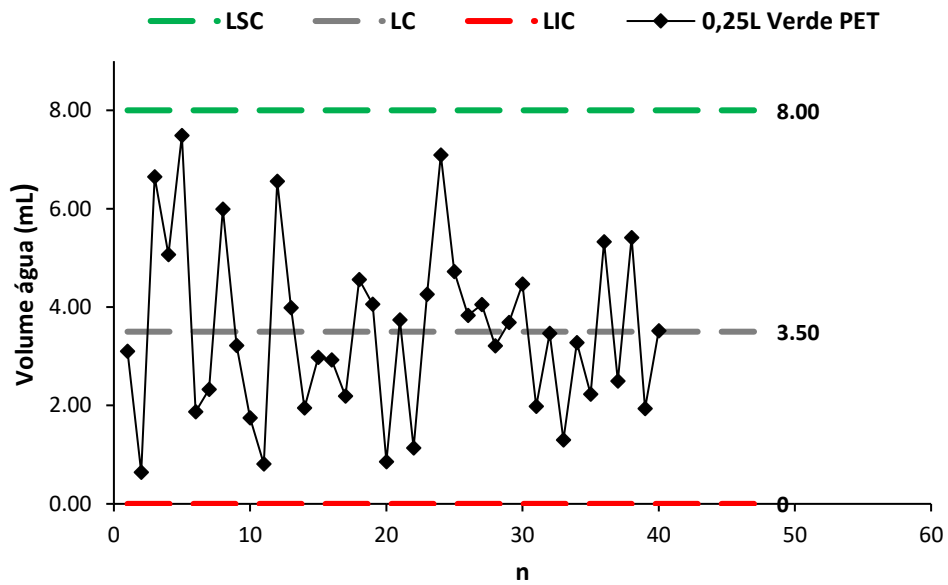


FIGURA 0.15 - CARTA DE CONTROLO R 0,25L VERDE PET- FASE 1

IX. CARTAS DE CONTROLO \bar{X} E R VOLUME ÁGUA - FASE 2

- 0,50L Verde (gaseificada) PET

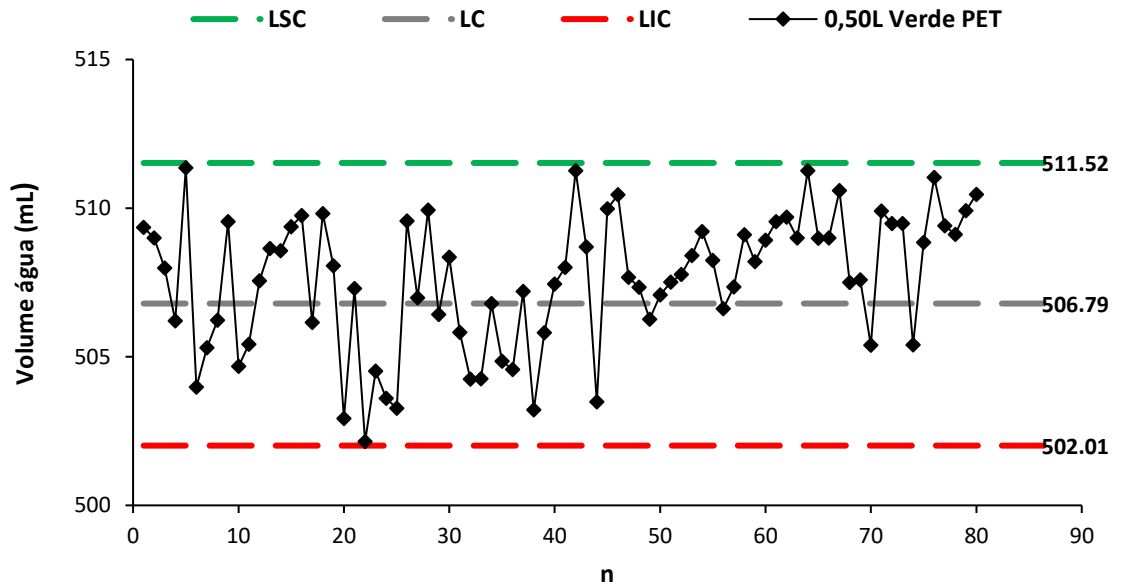


FIGURA 0.16 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA 0,50L VERDE PET- FASE 2

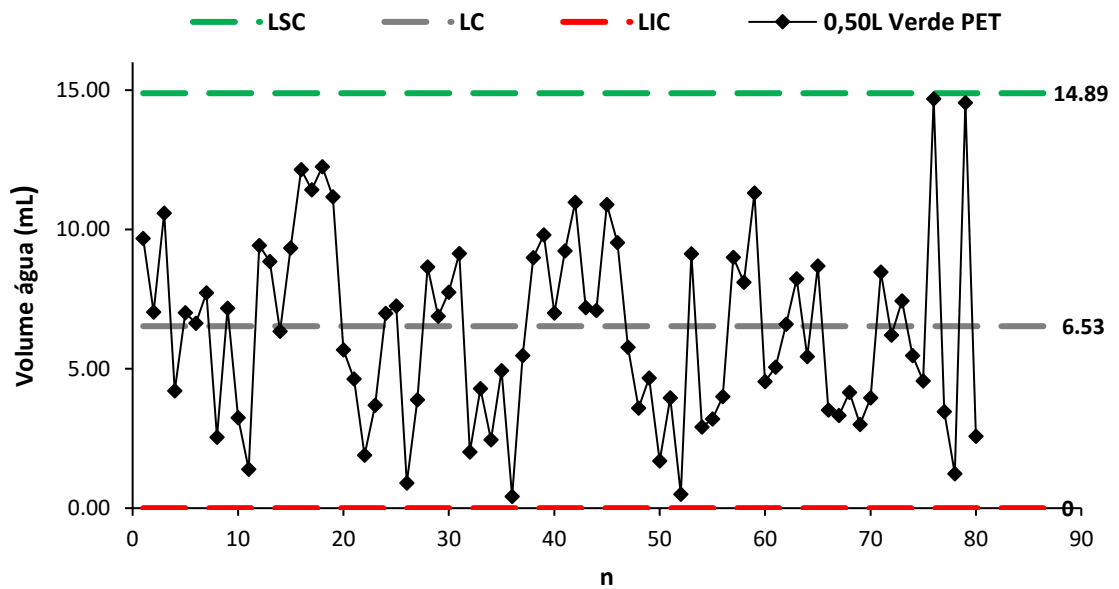


FIGURA 0.17 - CARTA DE CONTROLO R 0,50L VERDE PET- FASE 2

• 0,25L Verde gaseificada PET

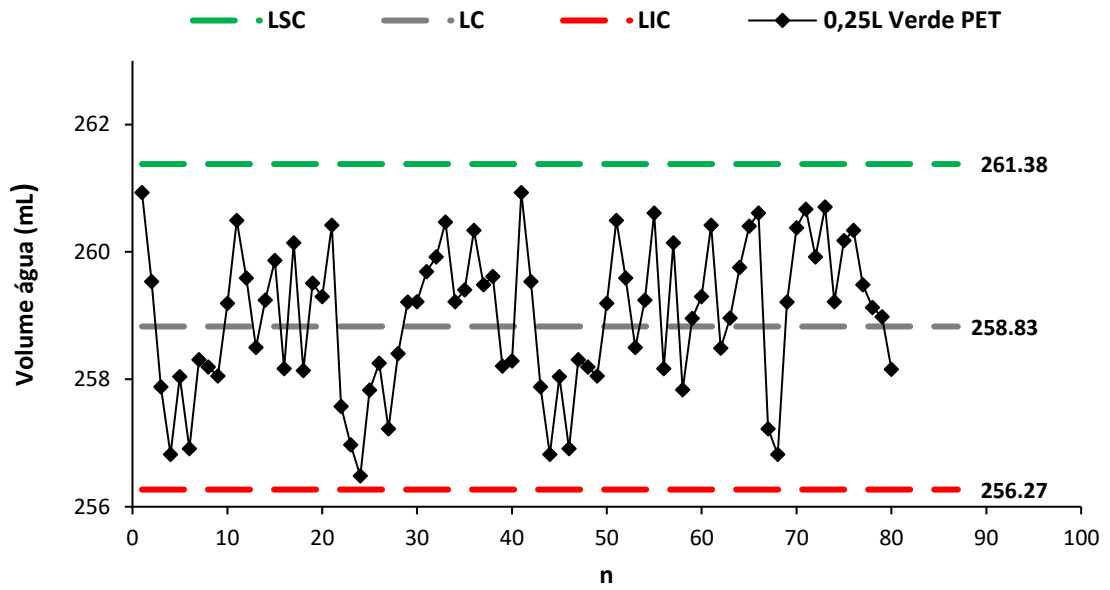


FIGURA 0.18 - CARTA DE CONTROLO X-BARRA 0,25L VERDE PET- FASE 2

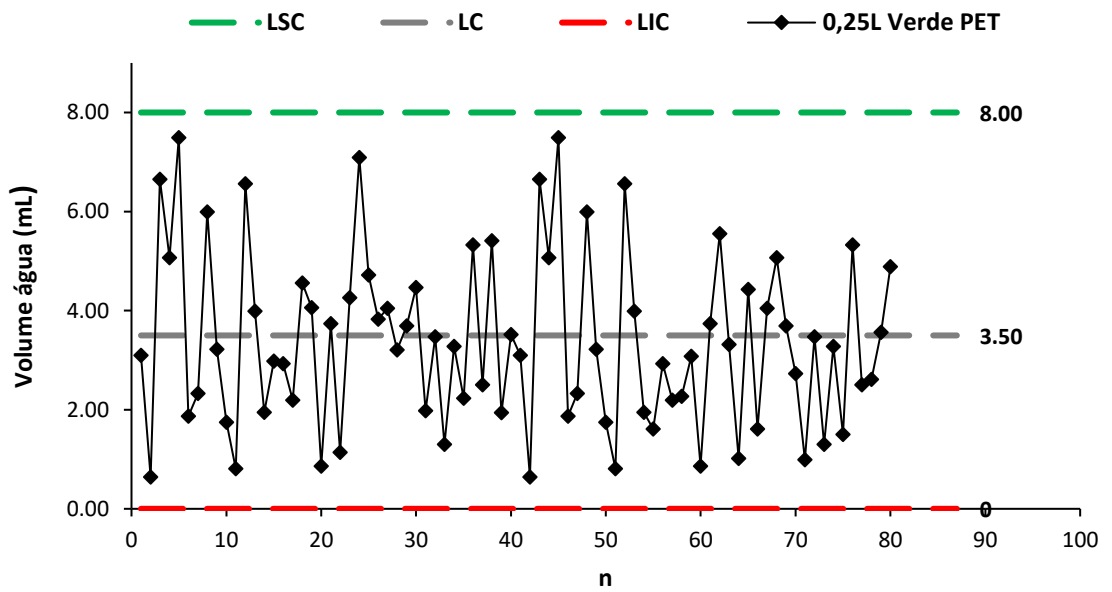


FIGURA 0.19 - CARTA DE CONTROLO R 0,25L VERDE PET- FASE 2

X. CARTAS DE CONTROLO \bar{X} E MR GRAMAGEM RETRÁTIL PET - FASE 1

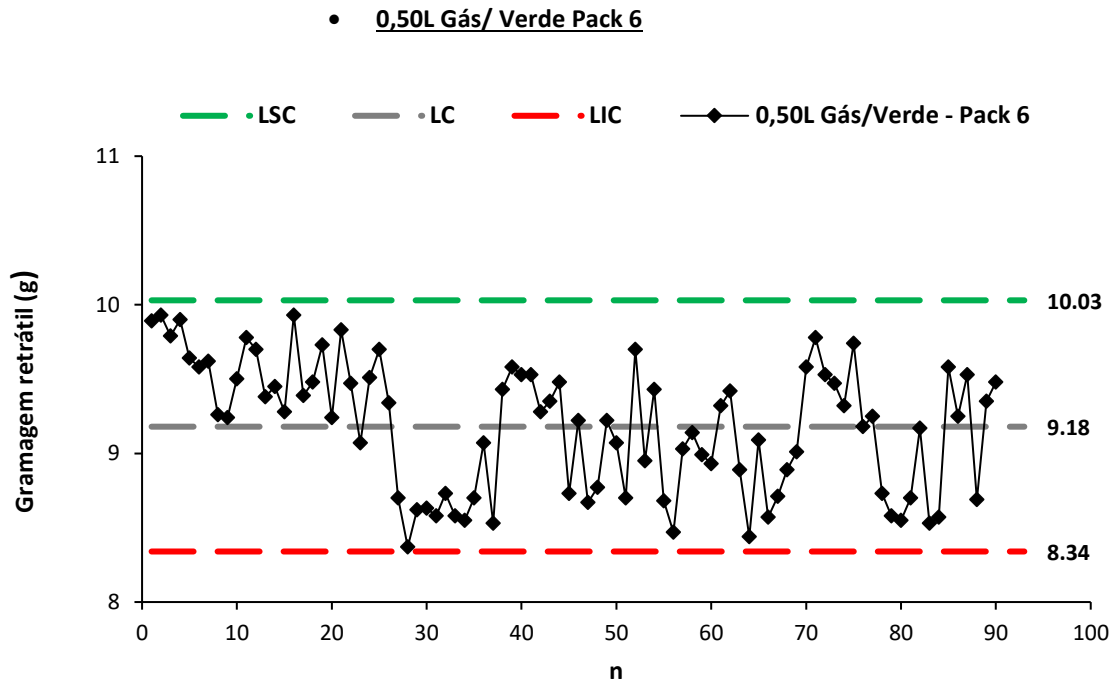


FIGURA 0.20 - CARTA DE CONTROLO \bar{X} 0,50L GÁS/VERDE PACK 6- FASE 1

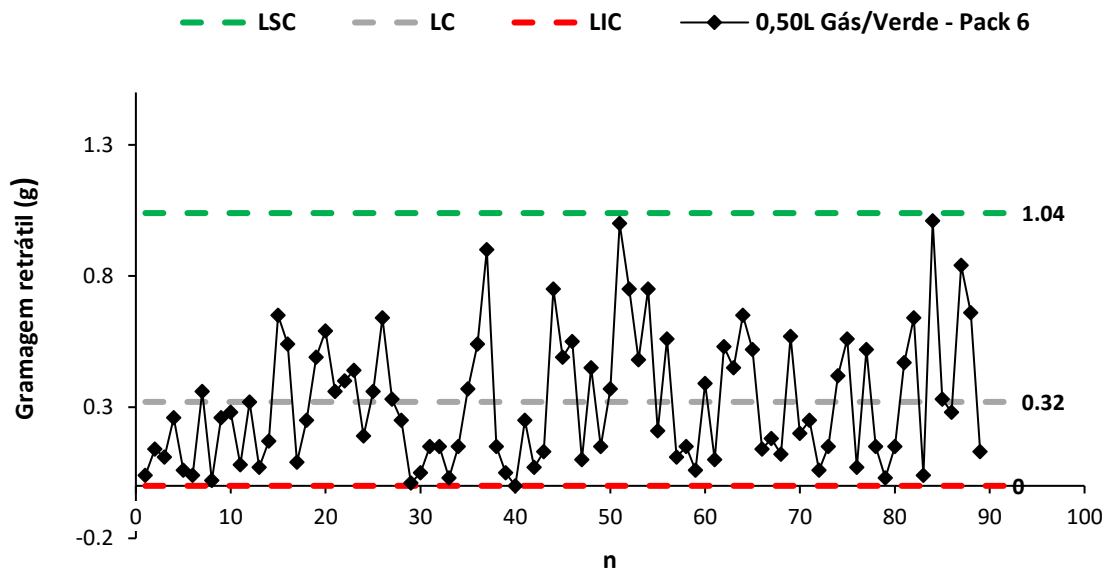


FIGURA 0.21 - CARTA DE CONTROLO MR 0,50L GÁS/VERDE PACK 6- FASE 1

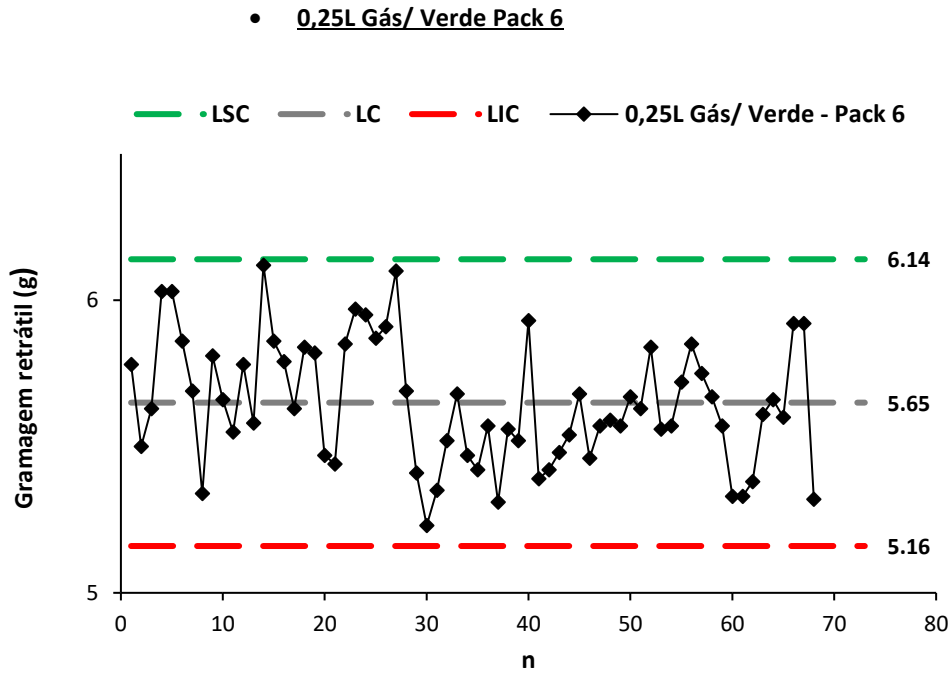


FIGURA 0.22 - CARTA DE CONTROLO X 0,25L GÁS/VERDE PACK 6- FASE 1

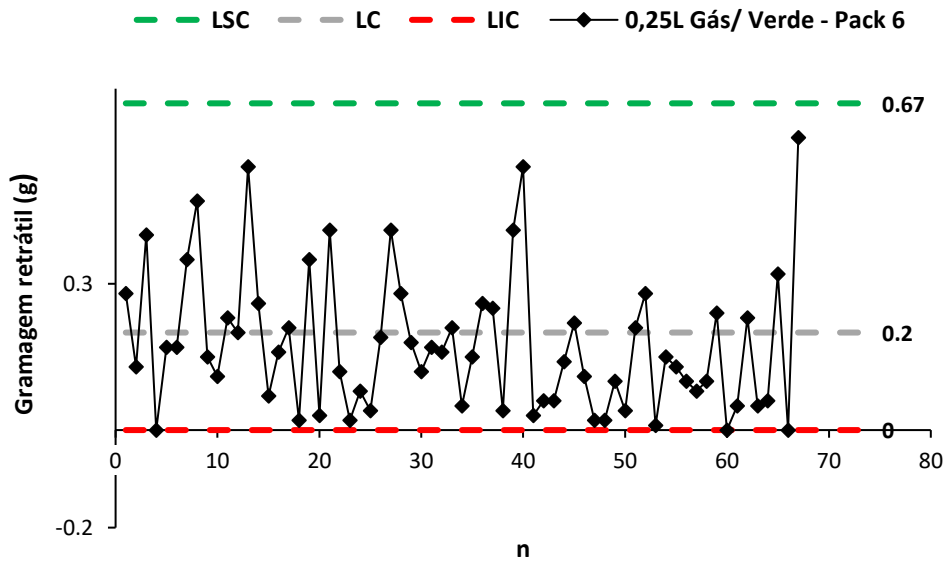


FIGURA 0.23 - CARTA DE CONTROLO MR 0,25L GÁS/VERDE PACK 6- FASE 1

• 0,33L Transparente Pack 24

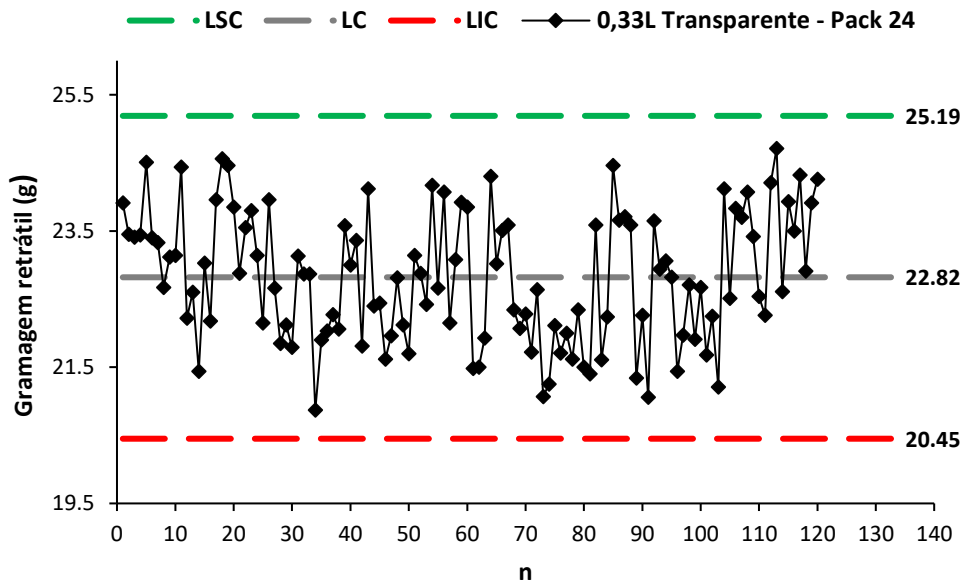


FIGURA 0.24 - CARTA DE CONTROLO X 0,33L TRANSPARENTE PACK 24- FASE 1

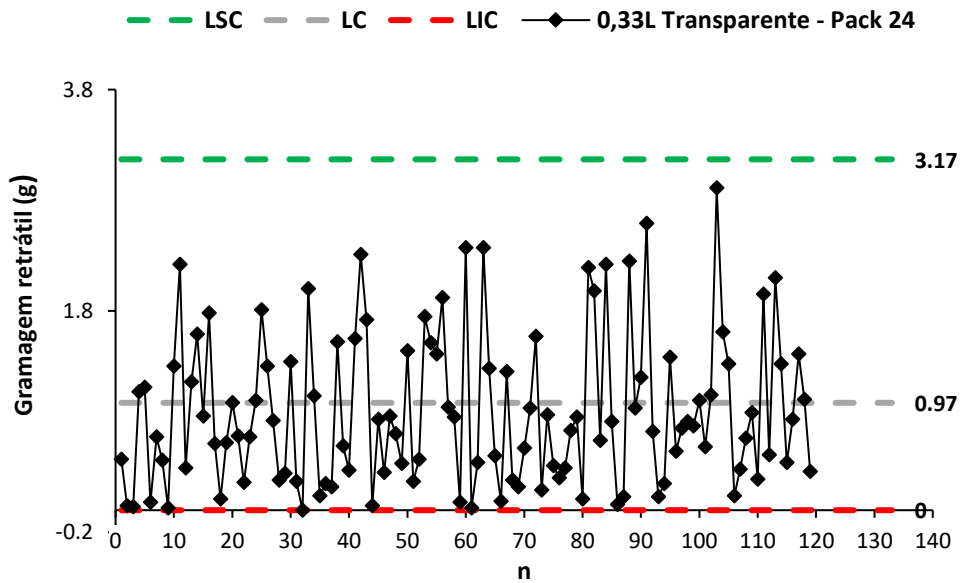


FIGURA 0.25 - CARTA DE CONTROLO MR 0,33L TRANSPARENTE PACK 24- FASE 1

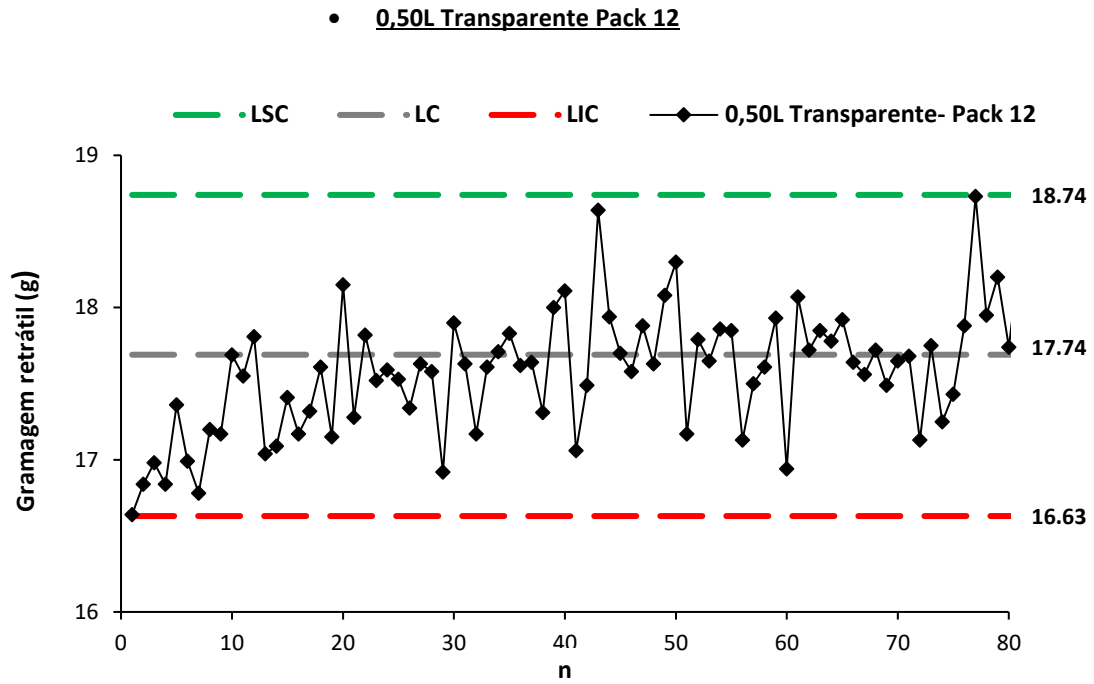


FIGURA 0.26 - CARTA DE CONTROLO X 0,50L TRANSPARENTE PACK 12- FASE 1

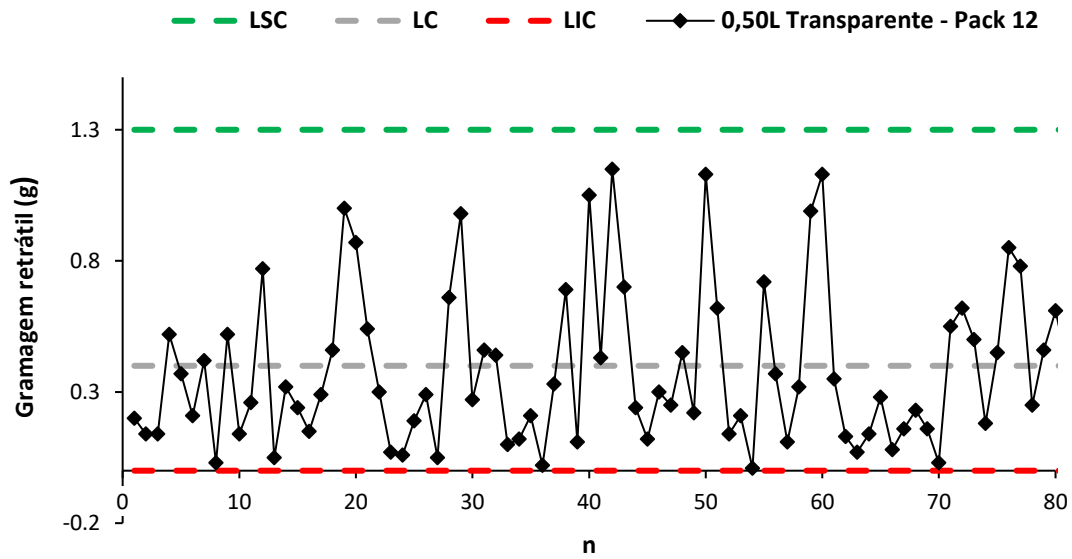


FIGURA 0.27 - CARTA DE CONTROLO MR 0,50L TRANSPARENTE PACK 12- FASE 1

• 1,50L Transparente Pack 6

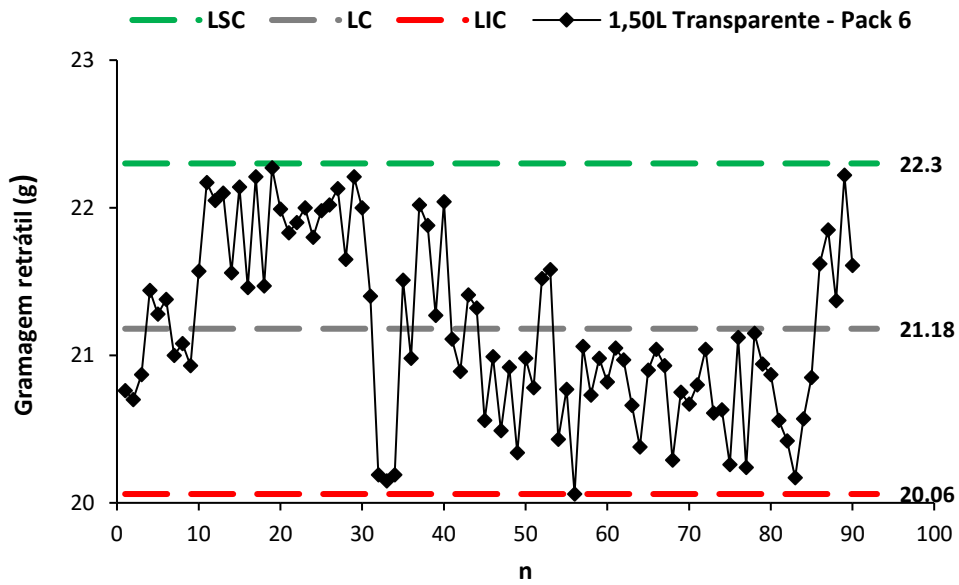


FIGURA 0.28 - CARTA DE CONTROLO X 1,50L TRANSPARENTE PACK 6- FASE 1

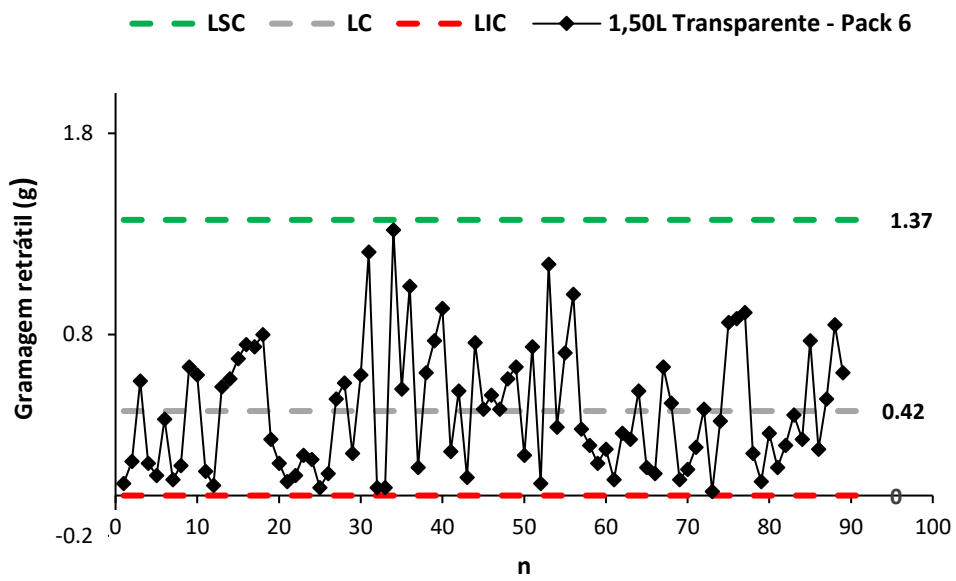


FIGURA 0.29 - CARTA DE CONTROLO MR 1,50L TRANSPARENTE PACK 6- FASE 1

XI. VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE - GRAMAGEM RETRÁTIL PET

- 0,50L Gás/ Verde Pack 6

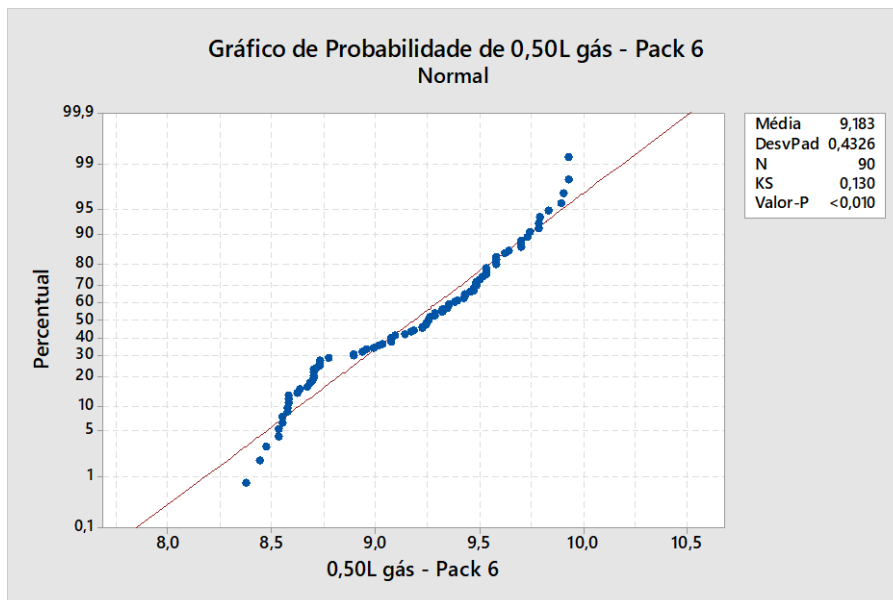


FIGURA 0.30 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES 0,50L GÁS/ VERDE PACK 6 - MINITAB

- 0,25L Gás/ Verde Pack 6

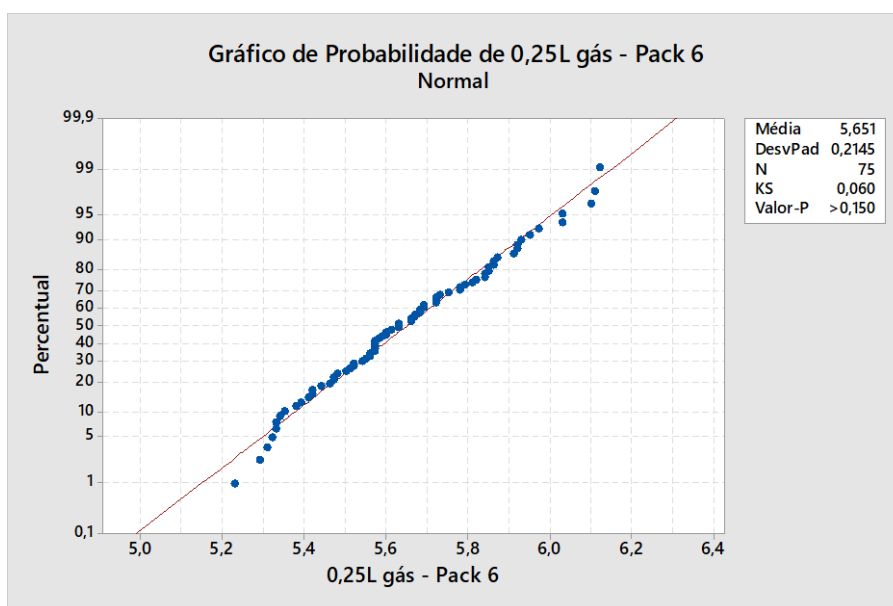


FIGURA 0.31 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES 0,25L GÁS/ VERDE PACK 6 - MINITAB

- **0,33L Transparente Pack 24**

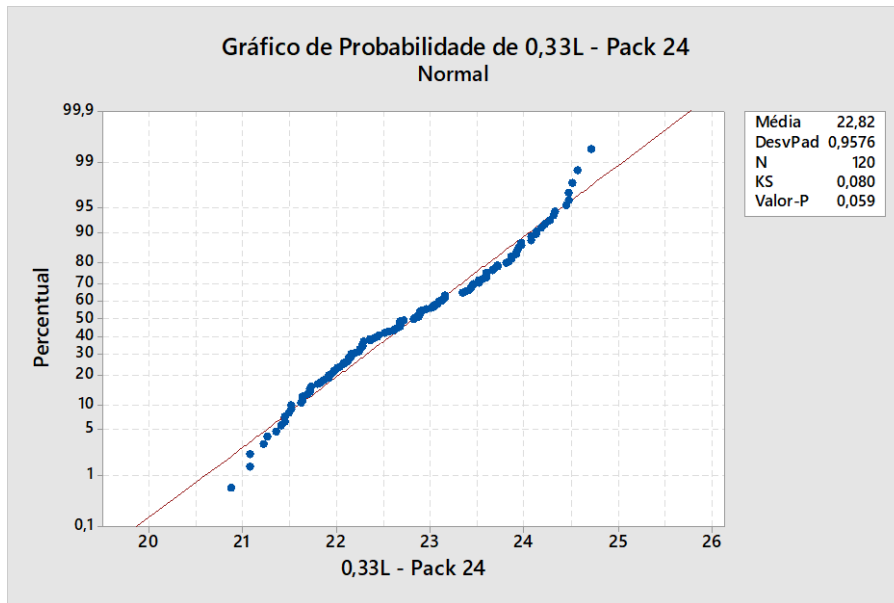


FIGURA 0.32 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES 0,33L TRANSPARENTE PACK 24 - MINITAB

- **0,50L Transparente Pack 12**

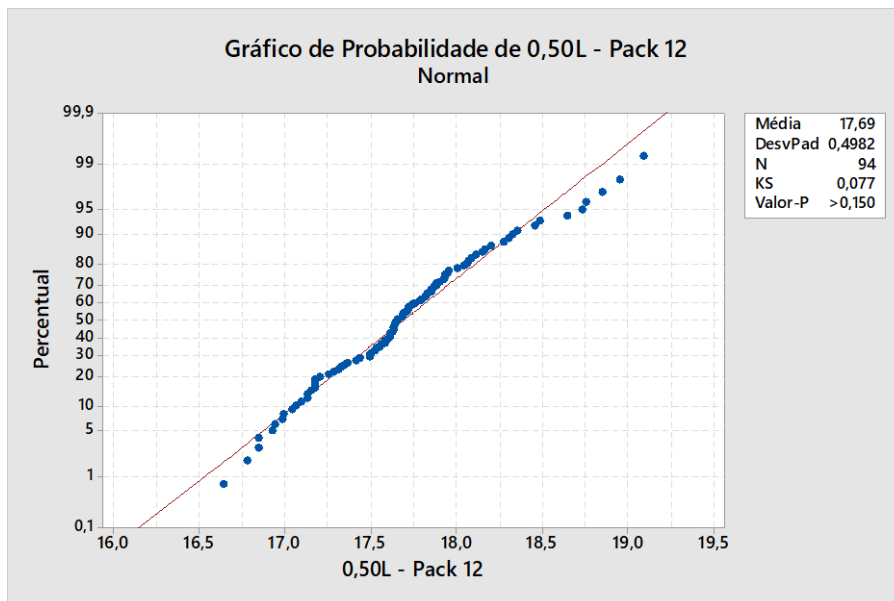


FIGURA 0.33 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES 0,50L TRANSPARENTE PACK 12 – MINITAB

- **1,50L Transparente Pack 6**

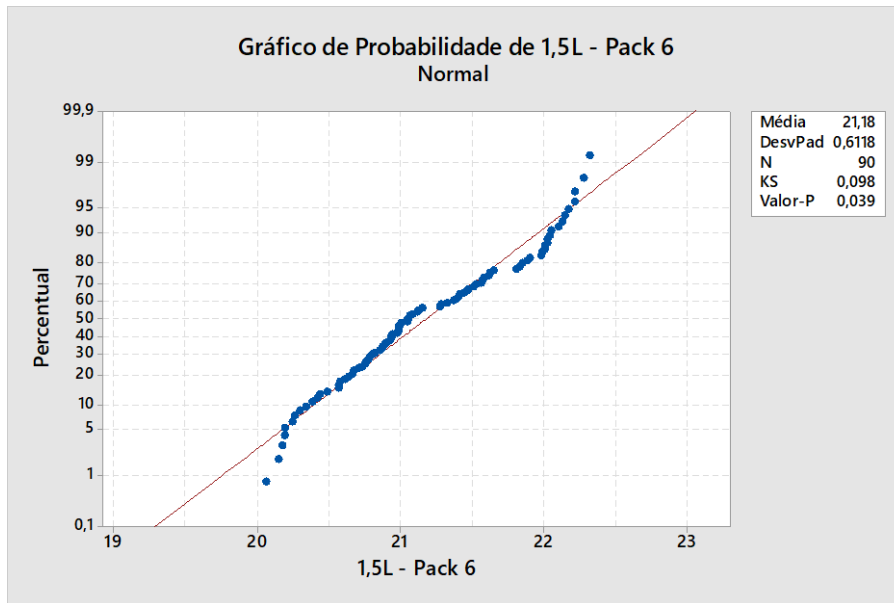


FIGURA 0.34 - VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DAS OBSERVAÇÕES 1,50L TRANSPARENTE PACK 6 – MINITAB

XII. TESTE BARTLETT

TABELA 0.3 – ANÁLISE ESTATÍSTICA – PRISM GRAPHPAD V5

Table Analyzed	Data 1		
One-way analysis of variance			
P value	< 0.0001		
P value summary	***		
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes		
Number of groups	6		
F	10390		
R squared	0,9899		
Bartlett's test for equal variances			
Bartlett's statistic (corrected)	178,7		
P value	< 0.0001		
P value summary	***		
Do the variances differ signif. (P < 0.05)	Yes		
ANOVA Table	SS	df	MS
Treatment (between columns)	21080	5	4216
Residual (within columns)	215,6	531	0,4060
Total	21300	536	

XIII. SOLUBILIDADE DO CO₂ EM ÁGUA

Em soluções ideais, o soluto, bem como o solvente, obedece à lei de Raoult. No entanto, o químico Inglês William Henry descobriu experimentalmente que, para soluções reais com baixas concentrações, embora a pressão de vapor do soluto seja proporcional à fração molar, a constante de proporcionalidade não é a pressão de vapor da substância pura. Henry também descreveu que a quantidade de gás dissolvido é proporcional à pressão parcial na fase gasosa. O fator de proporcionalidade é chamado de constante da lei de Henry. Para além da pressão o valor depende também de outros parâmetros, como por exemplo, a temperatura e a força iónica. (Sander, 2015) (Atkins & De Paula, 2014)

A água gaseificada é uma solução com baixas concentrações de CO₂, ou seja, a água gaseificada é constituída maioritariamente por água, aplica-se a lei de Henry. A lei de Henry é:

$$p_B = x_B \times k_B \quad (7.1)$$

Na expressão 1, x_B é a fracção molar do soluto e k_B é uma constante empírica (com as dimensões da pressão escolhidos para que o gráfico (figura 1) da pressão de vapor de B versus a fracção molar seja tangente à curva experimental em $x_B = 0$ (Atkins & De Paula, 2014).

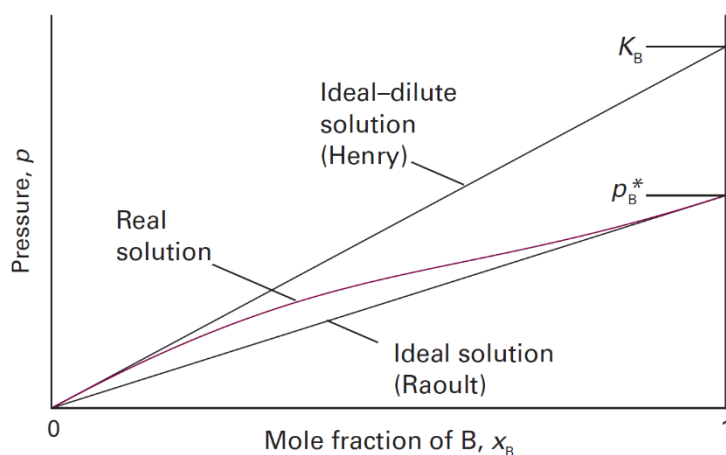


FIGURA 0.35 - LEI DE RAOULT E LEI DE HENRY (ADAPTADO DE ATKINS & DE PAULA, 2014)

A lei de Henry é expressa em termos de molalidade, B , do soluto $p_B = x_B \times k_B$. Assim para a conversão de um determinado soluto, existem constante (k_B) da lei de Henry aplicáveis. Para além de fornecer uma ligação entre a fracção molar do soluto e a pressão total a constante pode ser utilizada para calcular a solubilidade do gás.

Para o soluto em estudo, CO₂ a equação da lei de Henry fica da seguinte forma:

$$P_{CO_2} = x_{CO_2} \times k_{CO_2} \quad (7.2)$$

Como neste trabalho o objetivo é determinar a quantidade de CO₂ dissolvido, a equação fica conforme a equação 7.3.

$$x_{CO_2} = \frac{P_{CO_2}}{k_{CO_2}} \quad (7.3)$$

Neste trabalho existem uma grande variedade de valores de pressões e temperaturas, como a constante de Henry (k_{CO_2}) varia conforme a temperatura, o mesmo terá de ser calculado com recurso à correção de Van't Hoff, para a variedade de temperaturas utilizadas.

A equação de Van't Hoff, é uma expressão para a inclinação de um gráfico da constante de equilíbrio ($\ln(K)$) em função da temperatura, sendo expressa segundo a equação 7.4.

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta_r H^\circ}{R T^2} \quad (7.4)$$

Para encontrar o valor da constante de equilíbrio a uma temperatura T_2 , em termos do valor de K_1 numa outra temperatura T_1 , assim integra-se a equação 7.5 entre essas duas temperaturas.

$$\ln(K_2) - \ln(K^\circ) = - \frac{1}{R} \int_{\frac{1}{T_1}}^{\frac{1}{T_2}} \Delta_r H^\circ d \left(\frac{1}{T} \right) \quad (7.5)$$

Se $\Delta_r H^\circ$ variar pouco com a temperatura, nas faixas de temperatura de interesse, o mesmo fica fora do integral, conforme a equação 7.6.

$$\ln(K_2) - \ln(K^\circ) = - \frac{\Delta_r H^\circ}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T^\circ} \right) \quad (7.6)$$

Rearranjando a equação, fica conforme a equação 7.7.

$$K_2 = e^{\left(\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0} \right) \right)} \times K^\circ \quad (7.7)$$

A constante de K° e entalpia $\left(\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \right)$ foi selecionada foi a que o equipamento de medição rápida de CO_2 sugere, no qual já tinha a fórmula da lei de Henry como sugestão, com as respectivas constantes inseridas, e para reduzir custos à empresa utilizou-se as constantes sugeridas pelo aparelho de medição.

Como a Empresa das Águas do Vimeiro, S.A possui um equipamento de medição rápida de CO_2 , no qual já tinha a fórmula da lei de Henry como sugestão, com as respectivas constantes inseridas. Realizou-se testes de comparação entre a médias das variáveis sugeridas pelos autores e as variáveis sugeridos pelo aparelho, e a diferença era mínima, no máximo 0,10. Para reduzir custos à empresa utilizou-se as constantes sugeridas pelo aparelho de medição.

Assim o valor de $K^\circ = 28,5714 \text{ (bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3)$ e $\left(\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \right) = 2200 \text{ K}$.

Substituindo a o K_{CO_2} da lei de Henry pela correcção de Van't Hoff, para que seja obtido o valor do x_{CO_2} a várias temperaturas, obtêm-se a expressão 7.8.

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{P_{\text{CO}_2}}{e^{\left(\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0} \right) \right)} \times K^\circ} \quad (7.8)$$

Para o calcular a quantidade de CO_2 dissolvido, multiplica-se o x_{CO_2} pela sua massa molar, conforme a equação 7.9.

$$CO_2 \text{ dissolvido} = x_{CO_2} \times M(CO_2) \quad (7.9)$$

Sendo:

$$x_{CO_2} = (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3})$$

$$P_{CO_2} = \text{Pressão de medição (bar)}$$

$$\left(\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \right) = 2200 \text{ K}$$

$$K^\circ = 28,5714 (\text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3)$$

$$T_2 = \text{Temperatura de medição (K)}$$

$$T_0 = 298,15 \text{ K}$$

$$M(CO_2) = 44,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$CO_2 \text{ dissolvido} = \text{g} \cdot \text{dm}^{-3} = \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

XIV. PROCEDIMENTO DETERMINAÇÃO CO₂ LABORATÓRIO:

A medição do CO₂ dissolvido é efectuada com recurso ao equipamento de medição rápida FT System. Os analistas executam o seguinte procedimento:

1. Ligar o equipamento no botão ON/OFF na parte traseira do equipamento;
2. Aguardar que o equipamento inicie e apareça o menu “Definir Parâmetros de Medição” no ecrã;
3. Selecionar o tipo de medição “Medida Rápida de CO₂” ;
4. Selecionar a caixa de verificação “AUTO” para a medição da temperatura;
5. Selecionar a referência pretendida (0,25 Gás, 0,25 Gás - Vidro, ...);
6. Agitar a garrafa;
7. Colocar a garrafa centrada no molde do equipamento;
8. Ajustar a altura da garrafa de forma a conseguir que o feixe de luz infravermelha atravesse a zona gasosa do interior da garrafa, que fica no topo da água;
9. Pressionar a tecla “CONFIRMAÇÃO”;
10. Agitar a garrafa e colocar no centro do molde;
11. Pressionar a tecla “MEDIR”;
12. Aguardar que o equipamento efetue a medição;
13. Registar o valor da temperatura, pressão e quantidade de CO₂ na respetiva carta de controlo.

XV. PROCEDIMENTO DETERMINAÇÃO CO₂ LINHA:

Durante o engarrafamento de água gaseificada, os operadores retiram duas garrafas , logo após a capsulagem, de 15 minutos em 15 minutos;

A uma das garrafas é retirada a cápsula e inserido a sonda de temperatura, onde a mesma fica dentro da garrafa até estabilizar, depois regista-se o resultado;

Na segunda garrafa é feita a medição da pressão com recurso a um manómetro analógico calibrado.

Inserir-se o manómetro junto à cápsula, agita-se para ocorrer a libertação do CO₂, e fura-se a garrafa;

Quando o ponteiro da pressão estabilizar, registar o resultado;

Com recurso à tabela de conversão do CO₂, verificar a quantidade de CO₂ presente na garrafa, ou seja, com o valor da pressão (bar) e temperatura (°C) obtidos, fazer o cruzamento dos valores e registar o valor;

No final do dia a folha é entregue ao laboratório, para que insira os valores na respetiva carta de controlo.

Controlo da qualidade do teor de CO₂ em água mineral engarrafada



Gomes B. Vânia^{1,2*}, João M. Isabel²

¹Águas do Vimeiro, S.A., Rua da Ribeira, 2560-084, Maceira, Torres Vedras, Portugal

²Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

*a44368@alunos.isel.pt

Resumo

Este trabalho descreve a implementação e uso de cartas de controlo para monitorizar o teor de CO₂ em água mineral gaseificada engarrafada na Empresa Águas do Vimeiro S.A. (EAV). A determinação do teor de CO₂ em linha de produção foi realizada, por amostragem, recorrendo à medição da temperatura e da pressão em garrafas de PET e de vidro. Com o processo de produção, para o PET e para o vidro, sob controlo estatístico foi possível determinar os parâmetros do processo, e com base na especificação técnica determinar a sua capacidade. A implementação e uso de cartas de controlo permitiu à EAV um melhor conhecimento dos seus processos que se refletiu num contributo para a melhoria contínua dos mesmos.

Metodologia

Construção das cartas de controlo - Fase I e Fase II

FASE 1

Recolha de um conjunto preliminar de 40 amostras com n=4 para a construção de cartas de médias e de amplitudes.

Com o processo de produção em linha sob controlo estatístico determinaram-se os limites e linha central das cartas a utilizar na FASE 2.

PET		Vidro	
carta \bar{X}	carta R	carta \bar{X}	carta R
$\bar{X} + A_2\bar{R} = 9,04$	$D_4\bar{R} = 0,53$	$\bar{X} + A_2\bar{R} = 8,01$	$D_4\bar{R} = 0,51$
$\bar{X} = 8,87$	$\bar{R} = 0,23$	$\bar{X} = 7,85$	$\bar{R} = 0,22$
$\bar{X} - A_2\bar{R} = 8,70$	$D_3\bar{R} = 0,00$	$\bar{X} - A_2\bar{R} = 7,68$	$D_3\bar{R} = 0,00$

FASE 2

As cartas construídas na FASE 1 são usadas para monitorizar o CO₂ nas linhas de produção de PET e Vidro.

Capacidade do processo

Com o processo sob controlo estatístico foram determinados os índices de capacidade do processo - C_p e C_{pk} .

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}; (C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}; (C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma};$$

$$C_{pk} = \min[(C_{pk})_I, (C_{pk})_S]; \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Determinação do CO₂

O CO₂ foi determinado recorrendo à lei de Henry e equação de Van't Hoff segundo:

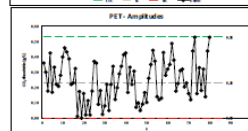
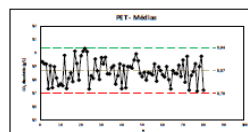
$$x_{CO_2} = \left(\frac{P_{CO_2}}{\left(\frac{\Delta T}{T} \right)^{0,6} \times \left(\frac{1}{V_0} \right) \times K^0} \right) \times M(CO_2)$$

Bibliografia

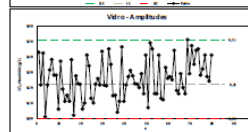
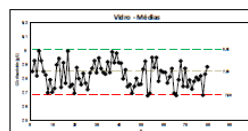
- R. Sander. Atmospheric Chemistry and Physics, 15(8), (2015), 4399-4981
 E.A. Moelwyn-Hughes, D. Lewis. J. Electrochem. Soc., 107(5), (1960), 124C-125C.
 Introduction to Statistical Quality Control, D.C. Montgomery, 7th edition. Wiley, 2012.

Resultados

Apresentam-se as cartas de controlo de médias e de amplitudes para o teor de CO₂ no o processo de produção PET e Vidro.



- Processo estável e sob controlo estatístico.
- A variabilidade do processo advém de causas comuns de variação.
- $C_p = 2,2$
- $C_{pk} = 1,87$
- O processo é capaz, mas está um pouco descentrado.
- Reduzir a média do processo para acertar ao valor alvo



- Processo estável e sob controlo estatístico.
- A variabilidade do processo advém de causas comuns de variação.
- $C_p = 2,3$
- $C_{pk} = 1,06$
- O processo é marginalmente capaz e está descentrado para o lado inferior da especificação.
- Aumentar a média do processo para acertar ao valor alvo.

Conclusão

Os processos estão sob controlo estatístico e ambos cumprem com a especificação. A baixa capacidade para o vidro não se prende com a variabilidade, pois o $C_p > 1,33$ mas sim com a localização sendo um problema de simples resolução. A implementação das cartas de controlo permitiu à EAV um melhor conhecimento dos seus processos que se refletiu na melhoria contínua dos mesmos.

Um agradecimento especial à EAV pela possibilidade de realização deste trabalho.

