



INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

Escola Superior Agrária de Santarém

Mestrado em Tecnologia Alimentar

Aplicação do Controlo Estatístico do Processo na definição dos limites de controlo numa indústria de condimentos e temperos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre na área de Tecnologia Alimentar

Ana Rita Mendes Esteves

Orientadora: Maria Adelaide Mota Oliveira (*PhD*)

Coorientadoras: Ana Maria Ambrósio Paulo (*PhD*)

Mariana Oliveira de Sousa Pereira (*MSc*)

2018, abril

DEDICATÓRIA



*Aos meus avós paternos,
Manuel Cruz e Ana Moura*

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação representa a conclusão de mais uma etapa marcante na minha vida. Uma etapa cujo percurso nem sempre foi fácil, mas cuja elaboração só foi possível graças ao apoio e colaboração de diversas pessoas, às quais expresso os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Prof.^a Adelaide Oliveira, pela orientação, ajuda e disponibilidade constante, pelos conselhos, motivação e incentivo, acreditando sempre nas minhas capacidades.

À minha coorientadora, Prof.^a Ana Ambrósio, fundamental à realização desta dissertação. A sua constante transmissão de conhecimentos, recomendações, bem como a forma mais clara de conseguir o pretendido nos momentos mais complicados do estudo, foram fator determinante à sua realização.

A todos os professores da Escola Superior Agrária de Santarém (ESAS), pela constante transmissão de conhecimentos necessários, ao longo destes cinco anos, e pela preparação para um futuro promissor na minha área de formação.

À empresa Mendes Gonçalves, S.A., pela oportunidade de estágio, bem como pelas ótimas condições de trabalho e ambiente de que dispõem. Em particular à Eng.^a Mariana Pereira, pela orientação prestada ao longo do estágio, pela paciência e confiança que sempre demonstrou, bem como a toda a equipa do laboratório de qualidade, por me ter recebido tão bem, permitindo o contacto com o trabalho existente na empresa.

Um agradecimento muito especial à minha família, em particular aos meus pais pelo apoio incondicional, dedicação e a força necessária para que nas fases mais difíceis não existisse qualquer perda de motivação. Mas, acima de tudo, pelo sacrifício que sempre fizeram por mim e por terem sempre acreditado nas minhas capacidades, principalmente por saberem que era capaz. A eles o meu sincero obrigado, pelas oportunidades dadas, principalmente de serem os responsáveis por me ter tornado no que sou hoje.

Ao meu namorado Renato, pela paciência, apoio, motivação, mas sobretudo por ter estado ao meu lado nos momentos mais difíceis, nunca me deixando desistir, e que ainda assim sempre conseguiu ter a palavra certa que me dava uma nova força.

A todos os meus amigos, que ao longo da minha vida sempre me apoiaram nos bons e maus momentos, com a sua constante amizade e incentivo.

A todos vocês o meu muito obrigado!

LISTA DE ABREVIATURAS / SÍMBOLOS

A_2, A_3	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
\tilde{A}_2	Fator para a construção das cartas de controlo de variáveis
ARL	<i>Average Run Length</i>
$ARL_{ForadeControlo}$	ARL quando o processo não se encontra sob controlo estatístico
ARL_{FC}	Valor de $ARL_{ForadeControlo}$
$ARL_{EmControlo}$	ARL quando o processo se encontra sob controlo estatístico
B_3, B_4	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
c	Número de defeitos
c_4	Fator para a construção das cartas de controlo de variáveis
CEP	Controlo Estatístico do Processo
D_3, D_4	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
d_2, d_3	Fatores para a construção das cartas de controlo de variáveis
d'_2, d'_3	Fatores para a construção das cartas X e R pelo método WV
D	Estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov
$D_{Crítico}$	Valor crítico para o teste de Kolmogorov-Smirnov
ESAS	Escola Superior Agrária de Santarém
EUA	Estados Unidos da América
FAC, FACP	Função de Auto-Correlação, Função de Auto-Correlação Parcial
GQT	Gestão pela Qualidade Total
IDI	Departamento de Investigação, Desenvolvimento e Inovação
ISO	<i>International Standards Organization</i>

k	Número de amostras no método <i>WV</i>
LC	Linha central
LIC, LSC	Limite inferior e superior de controlo
M	Valor médio da especificação
MR	Amplitude móvel
\overline{MR}	Média das amplitudes móveis
MR_i	Amplitude móvel da amostra i
m	Número de amostras
N	Número de dados
n	Dimensão da amostra
np	Número de unidades não conformes
P_x	Probabilidade de ocorrerem valores inferiores ou iguais à média
p	Probabilidade ou proporção de unidades não conformes
QR	<i>Quantile Ratio</i>
R	Amplitude amostral
\overline{R}	Amplitudes das amplitudes de amostras
S	Desvio padrão amostral
\overline{S}	Média do desvio padrão amostral
S^2	Variância amostral
\overline{S}^2	Média das variâncias de amostras
SAP	<i>Systems Application and Products</i>

SDJ	Sistema de Distribuições de Johnson
SDP	Sistema de Distribuições de Pearson
S_B, S_L, S_U	Famílias de distribuições de Johnson
t	Tempo
u	Número de defeitos por unidade
V_L, V_U	Fatores para a construção da carta R pelo método WV
WV	Variância Ponderada
W_L, W_U	Fatores para a construção da carta X pelo método WV
$WV \bar{X}$	Carta de controlo da média segundo o método WV
WVR	Carta de controlo da amplitude segundo o método WV
X	Caraterística da qualidade
\bar{X}	Média amostral
$\bar{\bar{X}}$	Média global
X_i	Observação da caraterística X no instante i
X_{i-1}	Valor de X para o instante $i-1$
X_{ij}	Observações j da amostra i
X_t	Observação da caraterística X no instante t
\tilde{X}	Mediana
$\bar{\tilde{X}}$	Média das medianas
Y_T	Valor da variável y no instante t

Z	Variável Normal reduzida
β	Risco tipo I (Risco do consumidor)
ε_t	Ruído branco ($\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$)
$\Phi(\bullet)$	Função de distribuição Normal
$\gamma, \eta, \lambda, \varepsilon$	Parâmetros do SDJ
μ	Média do processo
$\hat{\mu}$	Média do processo estimada
μ_ω	Média da carta de controlo
μ_X	Média do processo (distribuição de X)
μ_R	Média da distribuição de amplitudes de amostras
ν	Número de graus de liberdade
σ	Desvio padrão do processo
$\hat{\sigma}$	Desvio padrão do processo estimado
σ^2	Variância do processo
σ_X	Desvio padrão da distribuição de amostras
σ_R	Desvio padrão da distribuição de amplitudes de amostras
σ_ω	Desvio padrão da carta de controlo
σ_ω^2	Variância da carta de controlo
ω	Estatística de uma carta de controlo
ω_i	Estatística de uma carta de controlo referente à característica i

λ Parâmetro de transformação

$(a)^+$ Valor dado por $\max(0,a)$

Aplicação do Controle Estatístico do Processo na definição dos limites de controlo numa indústria de condimentos e temperos

RESUMO

A qualidade tem evoluído significativamente no setor alimentar, devido ao aumento das exigências por parte dos consumidores, à legislação, ao desenvolvimento dos mercados e ao aumento da concorrência. Como suporte às organizações, foram desenvolvidas técnicas e metodologias de apoio à melhoria da qualidade.

As cartas de controlo são ferramentas utilizadas no Controle Estatístico do Processo, que permitem monitorizar o processo, prever as falhas e reduzir a variabilidade.

A empresa Mendes Gonçalves, S.A., propôs a avaliação dos intervalos estabelecidos para os parâmetros dos seus produtos e, caso se revelasse necessário, efetuar a sua atualização. Com recurso a dados de histórico relativos a parâmetros de molhos, temperos e condimentos, elaborou-se cartas de observações individuais e das amplitudes móveis. Foram estudados diversos parâmetros relativos a 72 produtos, designadamente pH, viscosidade, teor de sólidos solúveis, consistência, cor, acidez, cloretos e densidade. A avaliação dos intervalos estabelecidos levou em muitos casos a propostas de atualização.

Palavras-chave: Cartas de controlo; CEP; Indústria alimentar; Qualidade.

Application of statistical process control in the definition of the control standards of a condiment and seasoning industry

ABSTRACT

Quality has evolved significantly without the food sector due to increased consumer demands, legislation, market development and increased competition. As support to organizations, techniques and methodologies have been developed to support quality improvement.

Control charts are tools used in Statistical Process Control to monitor the process, predict failures and reduce variability.

The company Mendes Gonçalves, S.A., proposed to evaluate the intervals established for the parameters of its products and, if necessary, to update them. Using historical data on parameters of sauces, spices and condiments, charts of individual observations and moving amplitudes were elaborated. Several parameters related to 72 products were studied, namely pH, viscosity, soluble solids content, consistency, color, acidity, chlorides and density. The evaluation of the established intervals has led in many cases to proposals for updating.

Keywords: Control Charts; SPC; Food industry; Quality.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS DOS APÊNDICES	xiv
ÍNDICE DE QUADROS DOS APÊNDICES.....	xvii
ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS.....	xx
1 INTRODUÇÃO	1
2 CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	4
2.1 Conceito de qualidade e evolução histórica.....	4
2.2 Abordagem tradicional do controlo estatístico do processo	9
2.3 Cartas de controlo	10
2.3.1 Processo de construção das cartas de controlo	13
2.3.2 Recolha de dados	14
2.3.2.1 Subgrupos racionais	14
2.3.2.2 Dimensão das amostras e frequência de amostragem.....	15
2.3.3 Regras para deteção de causas especiais	16
2.3.4 Tipos de cartas de controlo	17
2.3.4.1 Cartas de controlo de observações individuais e da amplitude móvel.....	19
2.3.5 Estimação dos parâmetros do processo	20
2.3.6 Resumo e aplicações das cartas de controlo de variáveis.....	21
2.3.7 Medidas de desempenho das cartas de controlo.....	21
2.4 Condições para a aplicação das cartas de controlo	23
2.4.1 Aleatoriedade dos dados	24
2.4.2 Independência dos dados	24
2.4.3 Normalidade dos dados	24
2.4.4 Não Normalidade e Transformações	26
2.4.4.1 Transformação de Box Cox.....	26
2.4.4.2 Transformação Segundo o Sistema de Distribuições de Johnson	26
2.4.5 Assimetria e Método da Variância Ponderada	31
2.5 Capacidade do processo.....	33
3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	35
3.1 A empresa Mendes Gonçalves, S.A.....	35
3.2 Estrutura organizacional da Mendes Gonçalves, S.A.....	35

3.3	Processo produtivo.....	36
3.3.1	Fluxograma de produção de molhos e controlo de qualidade	36
3.4	Qualidade na Mendes Gonçalves, S.A.....	40
4	PARTE EXPERIMENTAL.....	42
4.1	Metodologia de aplicação	42
4.2	Recolha dos dados	43
4.3	Análise e discussão dos resultados	44
4.3.1	Construção e análise das cartas de controlo	44
4.3.2	Verificação da normalidade dos dados.....	51
4.3.3	Transformação dos dados	52
4.3.4	Método da Variância Ponderada.....	53
4.3.5	Síntese dos resultados finais	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	BIBLIOGRAFIA	60
	APÊNDICES	a
	Apêndice I – Estimação dos parâmetros.....	b
	I.1. Molho A.....	c
	I.2 Resumo dos intervalos do molho A.....	dd
	ANEXOS	hh
	Anexo I – Tabelas	ii
	I.1 Fatores de construção para as cartas de controlo de variáveis.....	jj
	Anexo II - Tabelas para a construção das cartas $WV\bar{X}$ e WVR	kk
	II.1 - Fatores de construção para a carta da média e da amplitude pelo método WV	ll

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de uma carta de controlo (Adaptado de Pereira & Requeijo, 2012). ..	11
Figura 2: Zonas de uma carta de controlo com distribuição normal (Retirado de Matos, 2016, p.25).....	12
Figura 3: Regras para a deteção no processo de causas especiais de variação (Adaptado de Pereira & Requeijo, 2012). ..	17
Figura 4: Empresa Mendes Gonçalves, S.A. (Retirado de Mendes Gonçalves, 2016 a). ..	35
Figura 5: Fluxograma de fabrico dos molhos a frio e a quente. (Adaptado de Mendes Gonçalves, 2016 b). ..	37
Figura 6: Produtos da empresa Mendes Gonçalves, S.A. (Adaptado de Mendes Gonçalves, 2017).....	41
Figura 7: Intervalo referente ao parâmetro viscosidade do molho A estabelecido na empresa.....	45
Figura 8: Distribuição das observações por frequências da Figura 7	46
Figura 9: Carta de observações individuais para o novo intervalo obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.	47
Figura 10: Carta das amplitudes móveis para o novo intervalo obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.	47
Figura 11: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.	48
Figura 12: Distribuição das observações por frequências da Figura 11	49
Figura 13: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.	49
Figura 14: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro viscosidade em estudo no molho A.....	50
Figura 15: Representação gráfica do teste de Kolmogorov-Smirnov ao conjunto de dados.	51
Figura 16: Representação gráfica do teste de Kolmogorov-Smirnov ao conjunto de dados transformados.	53
Figura 17: Carta de observações individuais adaptada ao método <i>WV</i>	55
Figura 18: Carta das amplitudes móveis adaptada ao método <i>WV</i>	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de cartas de controlo mais utilizadas no controlo de variáveis e de atributos.	18
Quadro 2: Estimação dos parâmetros do processo.....	21
Quadro 3: Resumo das equações necessárias ao cálculo dos limites das cartas de controlo de variáveis.....	21
Quadro 4: Equações e condições para cada uma das três famílias do SDJ.....	27
Quadro 5: Limites de controlo para as cartas $WV\bar{X}$ e WVR	33
Quadro 6: Organização dos vários departamentos da empresa.....	36
Quadro 7: Produtos analisados divididos por grupos chave de acordo com as suas características.	44
Quadro 8: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	45
Quadro 9: Estatísticas descritivas da viscosidade à descarga.	45
Quadro 10: Determinação do novo intervalo obtido para o parâmetro de qualidade em estudo.....	46
Quadro 11: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro viscosidade.	48
Quadro 12: Estatísticas descritivas da viscosidade após refinação dos limites de controlo.	48
Quadro 13: Determinação dos percentis X_i na distribuição Normal reduzida.	52
Quadro 14: Determinação do índice QR	52
Quadro 15: Parâmetros estimados para o cálculo das equações da distribuição de Johnson S_B	53
Quadro 16: Estimação do P_X e determinação dos limites de controlo para a carta X e MR pelo método WV	54
Quadro 17: Número de produtos em que ocorreu a alteração dos seus intervalos aos parâmetros de qualidade, estabelecidos na empresa.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS DOS APÊNDICES

Figura I.1: Intervalo referente ao parâmetro pH do molho A estabelecido na empresa.	c
Figura I.2: Distribuição das observações por frequências da Figura I.1	c
Figura I.3: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH do molho A.	d
Figura I.4: Distribuição das observações por frequências da Figura I.3	d
Figura I.5: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH do molho A.	e
Figura I.6: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro pH em estudo no molho A.	e
Figura I.7: Intervalo referente ao parâmetro pH 20°C do molho A estabelecido na empresa.	f
Figura I.8: Distribuição das observações por frequências da Figura I.7	f
Figura I.9: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH 20°C do molho A.	g
Figura I.10: Distribuição das observações por frequências da Figura I.9	g
Figura I.11: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH 20°C do molho A.	h
Figura I.12: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro pH 20°C em estudo no molho A.	h
Figura I.13: Intervalo referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A estabelecido na empresa.	i
Figura I.14: Distribuição das observações por frequências da Figura I.13	i
Figura I.15: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A.	j
Figura I.16: Distribuição das observações por frequências da Figura I.15	j
Figura I.17: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A.	k
Figura I.18: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro viscosidade 20°C em estudo no molho A.	k
Figura I.19: Intervalo referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A estabelecido na empresa.	l
Figura I.20: Distribuição das observações por frequências da Figura I.19	l

Figura I.21: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A.....	m
Figura I.22: Distribuição das observações por frequências da Figura I.21	m
Figura I.23: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A.....	n
Figura I.24: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro densidade 20°C em estudo no molho A.	n
Figura I.25: Intervalo referente ao parâmetro acidez do molho A estabelecido na empresa.	o
Figura I.26: Distribuição das observações por frequências da Figura I.25	o
Figura I.27: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro acidez do molho A.....	p
Figura I.28: Distribuição das observações por frequências da Figura I.27	p
Figura I.29: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro acidez do molho A.....	q
Figura I.30: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro acidez em estudo no molho A.....	q
Figura I.31: Intervalo referente ao parâmetro cloretos do molho A estabelecido na empresa.....	r
Figura I.32: Distribuição das observações por frequências da Figura I.31	r
Figura I.33: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro cloretos do molho A.	s
Figura I.34: Distribuição das observações por frequências da Figura I.33	s
Figura I.35: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro cloretos do molho A.	t
Figura I.36: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro cloretos em estudo no molho A.	t
Figura I.37: Intervalo referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do molho A estabelecido na empresa.	u
Figura I.38: Distribuição das observações por frequências da Figura I.37	u
Figura I.39: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do molho A.....	v
Figura I.40: Distribuição das observações por frequências da Figura I.39	v

Figura I.41: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do molho A.....	w
Figura I.42: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro cor L^* em estudo no molho A.....	w
Figura I.43: Intervalo referente à coordenada da cromaticidade (a^*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A estabelecido na empresa.....	x
Figura I.44: Distribuição das observações por frequências da Figura I.43	x
Figura I.45: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (a^*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.	y
Figura I.46: Distribuição das observações por frequências da Figura I.45	y
Figura I.47: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (a^*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.	z
Figura I.48: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro coordenada da cromaticidade (a^*) em estudo no molho A.	z
Figura I.49: Intervalo referente à coordenada da cromaticidade (b^*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A estabelecido na empresa.....	aa
Figura I.50: Distribuição das observações por frequências da Figura I.49	aa
Figura I.51: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (b^*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.	bb
Figura I.52: Distribuição das observações por frequências da Figura I.51	bb
Figura I.53: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (b^*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.	cc
Figura I.54: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro coordenada da cromaticidade (b^*) em estudo no molho A.	cc

ÍNDICE DE QUADROS DOS APÊNDICES

Quadro I.1: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	c
Quadro I.2: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro pH.	d
Quadro I.3: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	f
Quadro I.4: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro pH 20°C.	g
Quadro I.5: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	i
Quadro I.6: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro viscosidade 20°C.	j
Quadro I.7: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido pela empresa.	l
Quadro I.8: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro densidade 20°C.	m
Quadro I.9: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	o
Quadro I.10: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro acidez.	p
Quadro I.11: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	r
Quadro I.12: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro cloretos.	s
Quadro I.13: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	u
Quadro I.14: Determinação do intervalo final após eliminação das observações para o parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB.	v
Quadro I.15: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	x
Quadro I.16: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para a coordenada a* do sistema cor CIELAB.	y

Quadro I.17: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.	aa
Quadro I.18: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para a coordenada b^* do sistema da cor CIELAB.	bb
Quadro I.19: Informações acerca das observações do parâmetro pH.....	dd
Quadro I.20: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro pH do molho A.	dd
Quadro I.21: Intervalo final obtido para o parâmetro pH do molho A.....	dd
Quadro I.22: Informações acerca das observações do parâmetro pH 20°C.....	dd
Quadro I.23: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro pH 20°C do molho A.	dd
Quadro I.24: Intervalo final obtido para o parâmetro pH 20°C do molho A.	dd
Quadro I.25: Informações acerca das observações do parâmetro viscosidade.....	dd
Quadro I.26: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro viscosidade do molho A.	dd
Quadro I.27: Intervalo final obtido para o parâmetro viscosidade no molho A.	ee
Quadro I.28: Informações acerca das observações do parâmetro viscosidade 20°C.	ee
Quadro I.29: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro viscosidade 20°C do molho A.	ee
Quadro I.30: Intervalo final obtido para o parâmetro viscosidade 20°C do molho A.	ee
Quadro I.31: Informações acerca das observações do parâmetro densidade 20°C.....	ee
Quadro I.32: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro densidade 20°C do molho A.	ee
Quadro I.33: Intervalo final obtido para o parâmetro densidade 20°C do molho A.....	ee
Quadro I.34: Informações acerca das observações do parâmetro acidez.	ee
Quadro I.35: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro acidez do molho A. .	ff
Quadro I.36: Intervalo final obtido para o parâmetro acidez do molho A.....	ff
Quadro I.37: Informações acerca das observações do parâmetro cloretos.....	ff
Quadro I.38: Intervalo Implementado na empresa para o parâmetro cloretos do molho A.	ff
Quadro I.39: Intervalo final obtido para o parâmetro cloretos do molho A.	ff
Quadro I.40: Informações acerca das observações do parâmetro luminosidade do sistema cor CIELAB.....	ff
Quadro I.41: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro luminosidade do molho A.	ff
Quadro I.42: Intervalo final obtido para o parâmetro luminosidade do molho A.	ff

Quadro I.43: Informações acerca das observações do parâmetro a^* do sistema da cor CIELAB.....	gg
Quadro I.44: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro a^* do molho A.....	gg
Quadro I.45: Intervalo final obtido para o parâmetro a^* do molho A.	gg
Quadro I.46: Informações acerca das observações do parâmetro b^* do sistema da cor CIELAB.....	gg
Quadro I.47: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro b^* do molho A.	gg
Quadro I.48: Intervalo final obtido para o parâmetro b^* do molho A.....	gg

ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS

Tabela I.1: Constantes para a construção das cartas de controlo de variáveis (Pereira & Requeijo, 2012).	jj
Tabela II.1: Constantes W_L e W_U para a carta $WV\bar{X}$ (Bai & Choi, 1995).	ll
Tabela II.2: Constantes V_L e V_U para a carta WVR (Bai & Choi, 1995).	mm

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos mercados fruto dos acelerados avanços tecnológicos e da procura constante por parte das organizações de uma melhoria contínua ao nível do seu desempenho, contribuíram para a descoberta da importância da qualidade dos seus produtos e serviços. Paralelamente a este desenvolvimento tecnológico, aumentaram as exigências por parte dos clientes na aquisição de produtos de excelência e a baixo custo (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012). Com o crescente aumento da competitividade nos mercados, só as organizações que detenham uma excelente estratégia e que sigam a aplicação do princípio “fazer bem à primeira” e com qualidade, sobrevivem (Pereira & Requeijo, 2012).

Ao longo do século XX, foram desenvolvidas diversas técnicas e metodologias de apoio à avaliação e melhoria da qualidade, tornando-se evidente a sua importância ao nível das organizações (Morais, 2007; Pereira & Requeijo, 2012). A estatística, como ciência, desempenha um papel fundamental ao nível da gestão da qualidade, proporcionando às organizações vários métodos de apoio, um melhor conhecimento, controlo e desenvolvimento dos seus produtos e respetivos processos de produção (Pereira & Requeijo, 2012).

Dos vários métodos estatísticos utilizados na conceção, desenvolvimento, controlo e melhoria da qualidade, destaca-se o Controlo Estatístico do Processo (CEP), que tem vindo a adquirir grande relevância (Pereira & Requeijo, 2012; Madanhire & Mbohwa, 2016). A sua utilização permite monitorizar o comportamento do processo, com recurso a cartas de controlo estatístico, ferramenta desenvolvida em 1924 por Walter Shewhart, reduzir a sua variabilidade e verificar se este é capaz de produzir de acordo com as suas especificações (*International Organization Standardization* [ISO] 8258-2:2005; Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012; Madanhire & Mbohwa, 2016).

Ainda são muito poucas as indústrias alimentares a nível internacional que têm apostado na implementação de métodos de gestão e utilização de métodos de controlo estatístico da qualidade (Dora, Kumar, Goubergen, Molnar & Gellynck, 2013).

A empresa nacional Mendes Gonçalves, S.A., tem como principal objetivo o desenvolvimento de produtos bastante inovadores e distintos da sua concorrência, competindo pela entrada em novos mercados. Atualmente é líder na produção de vinagres, molhos e temperos em Portugal.

A empresa que aposta na inovação e conhecimento, dispõe de um sistema informático, *Systems Application and Products* (SAP), recentemente desenvolvido para se adequar às necessidades atuais da organização e permitir uma melhor capacidade de análise e funcionalidade. Na sequência da sua implementação identificou-se a necessidade de efetuar uma avaliação aos intervalos estabelecidos para os parâmetros de qualidade dos produtos selecionados.

A presente dissertação tem como principal objetivo a determinação dos intervalos dos parâmetros de qualidade de alguns dos produtos produzidos pela empresa. Para o alcançar, recorreu-se à aplicação do método estatístico CEP, mais concretamente às cartas de controlo estatístico.

A concretização deste trabalho permitiu a aquisição de um conhecimento mais vasto na área de formação, permitindo aprofundá-los na área da qualidade, gestão da qualidade e CEP. Uma vez que o trabalho foi desenvolvido numa indústria alimentar, pretendeu-se ir ao encontro das suas necessidades, criando um trabalho com valor para a mesma e identificando possíveis trabalhos a serem desenvolvidos posteriormente no âmbito desta temática.

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos distintos, podendo ser consultados no final da mesma, a Bibliografia, os Apêndices e os Anexos.

No primeiro capítulo, Introdução, é feito um enquadramento ao trabalho proposto pela empresa Mendes Gonçalves, S.A., bem como os principais objetivos a que se propõe e a descrição de toda a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, Controlo Estatístico do Processo, é apresentada uma revisão bibliográfica de todos os conceitos e métodos necessários à aplicação do estudo prático. Inicialmente é feita uma abordagem à definição do conceito de qualidade e conseqüentemente a sua evolução ao longo dos anos. Procede-se à descrição do método CEP, bem como às principais ferramentas utilizadas para o seu bom funcionamento, mais concretamente as cartas de controlo, dando ênfase à construção e utilidade da carta de observações individuais e da amplitude móvel. Em seguida são apresentados três testes fundamentais à verificação da normalidade dos dados de uma distribuição, metodologias necessárias ao controlo estatístico quando tal não se verifica e, alternativas às cartas tradicionais de Shewhart. Por fim, é mencionado o conceito de capacidade do processo.

No terceiro capítulo, Caracterização da empresa, é apresentada a empresa Mendes Gonçalves, S.A., através de uma breve descrição da sua história, estrutura organizacional, processo produtivo e as principais preocupações relativamente à qualidade de todos os produtos produzidos.

No quarto capítulo, Parte experimental, é apresentado o produto e o parâmetro de qualidade mais relevante dos 72 produtos analisados. São ainda apresentados os processos aplicados ao estudo de acordo com os métodos descritos no capítulo 2, assim como a sua análise pormenorizada e os principais resultados obtidos com a sua aplicação.

No quinto e último capítulo, Considerações Finais, são apresentadas as principais conclusões retiradas da aplicação prática do estudo proposto pela empresa, bem como sugestões destinadas à mesma para que possa melhorar em determinados aspetos.

2 CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O presente capítulo tem como principal objetivo a descrição dos conceitos e técnicas fundamentais à aplicação do método CEP na empresa Mendes Gonçalves, S.A. Inicia-se com uma breve descrição do conceito de qualidade, a sua evolução ao longo dos anos até se tornar indispensável à sobrevivência da maioria das empresas no contexto atual de competitividade existente no mercado.

Após uma breve introdução, é feito o enquadramento do método CEP, onde são apresentadas algumas das técnicas estatísticas mais relevantes na Gestão da Qualidade. De seguida, são apresentadas todas as etapas e equações matemáticas fundamentais à aplicação das cartas de controlo estatístico, uma das ferramentas essenciais ao bom funcionamento do método CEP, com destaque para a carta de observações individuais e da amplitude móvel. São também referenciados os métodos utilizados para o estudo de dados que não seguem uma distribuição normal, bem como o método alternativo às cartas tradicionais de Shewhart.

Por fim, é apresentado o conceito de capacidade do processo. Ao contrário das cartas de controlo estatístico, este conceito permite saber se o processo tem a capacidade de seguir de acordo com as especificações estabelecidas para cada produto/serviço, comparando o intervalo de variação do processo e a variação real do mesmo.

2.1 Conceito de qualidade e evolução histórica

O conceito de qualidade sempre foi e será um tema de grande relevância para as civilizações, estando presente em todas as vertentes. Ao longo da história a qualidade tem sido abordada por diversos autores, levando ao desenvolvimento e melhoria contínua ao nível dos produtos e serviços, continuando a ser motivo de grande interesse nos dias de hoje (Reeves & Bednar, 1994; Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012).

A procura pela definição de qualidade tem sido descrita de diversas formas por parte de autores como: valor, conformidade para especificações, conformidade para requisitos, aptidão para uso, prevenção de perdas e superação das expectativas dos clientes (Reeves & Bednar, 1994).

A preocupação com a qualidade remonta às civilizações mais primitivas, tendo vindo a evoluir e a ser aplicada das mais diversas formas ao longo da história (Pires, 2007; Pereira & Requeijo, 2012). Inicialmente, a execução do trabalho era feita de forma artesanal e para consumo próprio, o Homem tinha como principal preocupação produzir de forma eficiente e adequada à sua funcionalidade, com materiais e dimensões apropriadas para desempenhar

as funções para as quais eram criadas (Pereira & Requeijo, 2012). Mais tarde, com o aparecimento dos primeiros aglomerados populacionais tornou-se imperativo para toda a comunidade a necessidade de abastecimento de produtos, assumindo o artesão um papel de destaque durante muitos anos. Além de identificar as necessidades dos clientes, executava diversas tarefas como ao nível da conceção e execução do produto, inspeção, venda e a assistência pós-venda (Pires, 2007; Pereira & Requeijo, 2012). Assim, ao longo de muitos séculos a indústria tinha uma dimensão local, assegurada por artesãos que laboravam em pequenas oficinas e por clientes/consumidores que viviam nas imediações. A preservação da qualidade era assegurada com base na reputação do artesão e a inspeção de acordo com a aceitação por parte dos seus clientes (Mast, 2008).

O rápido crescimento populacional originou um aumento substancial da procura, associada a uma necessidade de produção e de eficiência que se adequasse ao pretendido. Desencadeou a Revolução Industrial na Europa, onde surgiram as primeiras fábricas que rapidamente fizeram concorrência às unidades artesanais, tornando-as obsoletas. Nesta fase a gestão da qualidade estava a cargo de inspetores contratados pelos departamentos de produção das respetivas unidades fabris (Pereira & Requeijo, 2012).

No século XIX, com a Revolução Industrial já à escala global, a produção em massa já era uma realidade (Pereira & Requeijo, 2012). O produto era considerado de qualidade quando as suas características se encontravam de acordo com as especificações estabelecidas. Devido à complexidade dos processos a qualidade era apenas verificada através da inspeção dos produtos acabados, método considerado mais económico na altura do que a melhoria do processo para prevenir possíveis defeitos (Mast, 2008).

Em simultâneo com o desenvolvimento da produção em massa, surgem disciplinas como a estatística industrial e a engenharia da qualidade. Em 1908, William Gosset publica um artigo sob o pseudónimo “*Student*” onde estabelece as bases do t-teste. Este artigo inspirou indivíduos como Ronald Fisher, Egon Pearson e Jerzy Neyman a conceber ferramentas que permitissem a execução de experiências comparativas como o teste de hipóteses, análise da variância e de regressão (Mast, 2008).

Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), em diversas unidades fabris foram criados enormes departamentos de inspeção com o intuito de determinar as causas das inúmeras falhas ocorridas em equipamento militar, tendo-se percebido que o principal problema era a falta de cumprimento das especificações (Pires, 2007; Pereira & Requeijo, 2012).

Em 1924, Walter Shewhart (1891-1967) especialista em estatística nos Laboratórios *Bell*, propôs as cartas de controlo como um gráfico que permite a aplicação dos principais princípios estatísticos de significância no controlo de um processo (Gomes, 2004; ISO 8258-2:2005). Esta ferramenta permite a distinção entre as causas comuns e as causas especiais ou assinaláveis de variação. O trabalho desenvolvido por Shewhart ainda é válido e continua a ser base para a maioria dos programas de controlo da qualidade utilizados nos dias de hoje, realçando o facto de ser fundamental manter o processo sob controlo estatístico, apenas sujeito a causas comuns de variação, permitindo o estudo do seu comportamento ao longo do tempo e gerindo-o da melhor maneira (Hubbard, 2003; ISO 8258-2:2005; Pereira & Requeijo, 2012). Apesar do notável contributo de Shewhart ao nível do controlo estatístico do processo, a inspeção continuou a ser a maneira predominante de garantir a qualidade (Mast, 2008).

Na década de trinta do século XX, como alternativa à inspeção a 100% que se revelou bastante dispendiosa e demorada para as empresas, Harold Dodge e Harry Romig, desenvolveram a amostragem de aceitação com base em tabelas que permitem relacionar a dimensão da amostra com o risco que representa para o produtor e consumidor. Este método incide na inspeção em amostras de matéria-prima, componentes ou de produto acabado que são recolhidas aleatoriamente de um lote, decidindo-se através dos resultados adquiridos na inspeção da amostra, se o lote é ou não rejeitado (Mast, 2008; Pereira & Requeijo, 2012).

No decorrer das duas grandes guerras mundiais verificou-se o desenvolvimento de diversas técnicas estatísticas fundamentais na melhoria da qualidade, permitindo a implementação de métodos de avaliação em produtos recolhidos por lote, controlando ao mesmo tempo a qualidade durante o processo de produção (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012).

No início da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a Universidade de *Stanford* solicitou a colaboração de Edwards Deming com os seus estudos no sentido de contribuir para o esforço da guerra. O principal foco foi o material de guerra propondo a aplicação dos princípios do controlo estatístico da qualidade à sua produção (Gomes, 2004).

Foram instituídas novas formas de gestão da produção com base na normalização e elaboração de especificações técnicas, para combater a necessidade de segurança e uniformidade nos equipamentos militares. As organizações governamentais e empresas estabeleceram formações aos seus colaboradores sobre o CEP aplicado às indústrias, nomeadamente, a interpretação de cartas de controlo e consequentemente planos de amostragem (Wadsworth, Stephens & Godfrey, 2001).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial tornou-se evidente que a aplicação de técnicas estatísticas era fundamental para controlar e melhorar a qualidade do produto, verificando-se o desenvolvimento no domínio desta área, particularmente nos Estados Unidos da América (EUA) e no Japão (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012). Neste período, o Japão atravessava uma profunda crise económica e social, sendo necessário adotar medidas que permitissem o contorno dos obstáculos. Em 1946, três empresas japonesas ofereceram programas de formação em controlo da Qualidade, sendo que uma delas, a JUSE, convidou Edwards Deming (1950-1951) e Joseph Juran (1954) a dirigir seminários, influenciando positivamente as empresas japonesas a integrar os princípios da Qualidade em toda a sua organização, alcançando resultados extraordinários ao nível da qualidade e custo dos produtos (Pereira & Requeijo, 2012). No mesmo ano, foi fundada nos EUA a prestigiada *American Society for Quality Control*, que promove a utilização de técnicas de melhoria da qualidade em produtos e serviços (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012).

Na década de cinquenta do século XX, com o aumento da complexidade dos produtos e dos seus processos produtivos, surgiram novos conceitos e técnicas estatísticas, conduzindo à criação do Departamento de Controlo da Qualidade em várias empresas. Ainda na mesma década, Armand Feigenbaum introduziu o conceito de Qualidade Total nos EUA, com o principal objetivo de fornecer aos clientes um produto ou serviço adequado e ao menor custo, passando a Qualidade a ser responsabilidade de toda a organização.

Durante o período pós-Guerra verificou-se o contributo de diversos autores no desenvolvimento de novos métodos estatísticos. Em 1951, Box e Wilson desenvolveram a teoria da Metodologia de Superfície de Resposta para a otimização de processos direcionada para as indústrias químicas (Mast, 2008; Montgomery, 2009). Kaoru Ishikawa desenvolveu um conjunto de sete ferramentas básicas da Qualidade, entre as quais se destaca o diagrama de causa-efeito (Gomes, 2004; Mast, 2008; Montgomery, 2009). O engenheiro japonês Genichi Taguchi, desenvolveu uma metodologia em que a qualidade devia ser garantida através do *design* distinto dos produtos e processos, focado na experiência, *design* de parâmetros e de tolerância, considerando qualquer desvio do objetivo como perda de qualidade (Gomes, 2004; Mast, 2008; Montgomery, 2009).

No início da década de setenta do século XX, os japoneses conseguiram estabelecer-se nos mercados mundiais com produtos de qualidade, mais seguros e com menos defeitos, a preços competitivos e com uma duração superior aos existentes nos mercados (Mast, 2008; Pereira & Requeijo, 2012). Em 1979, Philip Crosby, publica o livro intitulado “*Quality is Free*”, com grande impacto nos EUA, onde apresenta o conceito de zero defeitos e afirma

que a qualidade compensa sempre o investimento, desde que seja garantida uma boa produção à primeira “*right first time*” (Gomes, 2004; Mast, 2008). Outros autores, como Armand Feigenbaum, apresentaram o conceito de custo de prevenção de componentes, avaliação e de falhas provenientes de produtos sem qualidade (Mast, 2008). Em meados da década de oitenta do século XX, várias empresas de diversos países adotaram o conceito de Gestão pela Qualidade Total (GQT), que consiste numa estratégia para implementar e gerir atividades de forma a melhorar a qualidade em toda a organização (Mast, 2008; Pereira & Requeijo, 2012).

Em 1987, a *International Standards Organization* (ISO), desenvolveu o primeiro referencial internacional sobre Sistemas da Qualidade, as normas da série ISO 9000. As normas aplicam-se a qualquer organização, existindo a ISO 9000:2005, ISO 9001:2015 que cancela e substitui a ISO 9001:2008 e, por fim a ISO 9004:2011 (Mast, 2008; Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012; NP EN ISO 9001:2015).

Ao longo do século XX, os métodos estatísticos sofreram um grande desenvolvimento no sentido de melhoria da Qualidade, observando-se dois tipos de técnicas e metodologias fundamentais: as de gestão e as estatísticas. Na primeira inserem-se os princípios da GQT, bem como as catorze ferramentas da qualidade (Fluxograma, Folhas de Registo e Verificação, Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa-e-Efeito, Histograma, Diagrama de Dispersão, Cartas de Controlo, Diagrama de Afinidades, Diagrama de Relações, Diagrama em Árvore, Diagrama Matricial, Matriz de Prioridades, Gráfico de Decisão do Processo e Diagrama de Atividades) e as técnicas de satisfação dos clientes (Desdobramento da Função Qualidade, o *Benchmarking* e a Análise dos Modos e Falhas e seus Efeitos). Na segunda há que dar relevância ao Delineamento Experimental, os Métodos de Taguchi e o CEP (Pereira & Requeijo, 2012).

No final do século XX, muitas indústrias inseridas num contexto de competitividade dos mercados, sofreram uma grande evolução tentando atingir elevados níveis de excelência ao nível da qualidade. As indústrias eletrónicas, automóveis e alimentares laboravam com elevados níveis de eficiência e qualidade, em que a falha de um destes requisitos podia ditar o fim do negócio. Neste contexto, encontrava-se a empresa Motorola que sofreu grandes perdas no final da década de setenta do século XX. Em 1987, surgiu a necessidade de a empresa apostar na melhoria da qualidade, lançando o programa seis sigma, com o objetivo de controlar e reduzir a variabilidade do processo. O programa seis sigma não é uma abordagem completamente nova, tendo como base muitas teorias mencionadas ao longo do subcapítulo de autores como Taylor, Shewhart, Deming e Juran (Mast, 2008).

2.2 Abordagem tradicional do controlo estatístico do processo

O CEP é um conjunto de ferramentas que permite a monitorização e resolução de problemas relacionados com a estabilidade do processo e melhoria da capacidade do mesmo, através da redução da variabilidade e decisão com recurso nas estimativas dos parâmetros do processo, se este é capaz de se desenvolver de acordo com as especificações pré-estabelecidas (Montgomery, 2005; Prajapati & Mahapatra, 2008; Pereira & Requeijo, 2012).

Inicialmente desenvolvido por Walter Shewhart em 1931, o CEP revelou-se um dos maiores desenvolvimentos tecnológicos do século XX, fundamental no controlo dos processos, despertando o interesse deste estudo por parte de vários autores ao longo dos anos, tais como Braverman (1981), Duncan (1986), Juran e Gryna (1993), Kolarik (1995), Doty (1996), Grant e Leavenworth (1996), Quesenberry (1997), Juran (1999), Ledolter e Burrill (1999), Pyzdek (1999), Wheeler (2004), Montgomery (2005), Oakland (2008), Pereira e Requeijo (2012), entre outros (Agostinho, 2011; Salgado, 2012).

Quando surgiu a metodologia CEP, a sua aplicação passava fundamentalmente pelo controlo e melhoria dos processos em indústrias de manufatura como a automóvel e o seu abastecimento, fabrico de motosserras, química e eletrodomésticos. Atualmente a sua aplicação há muito que ultrapassou o sector dos sistemas produtivos convencionais, estendendo-se às áreas da saúde, transportadoras, finanças e cadeias de *fast food* (Cox, 2009; Salgado, 2012).

O CEP pode ser utilizado em qualquer tipo de processo utilizando sete ferramentas básicas da qualidade com diferentes finalidades, que têm contribuído para a eficaz resolução dos mais distintos problemas relativos à gestão da qualidade (Montgomery, 2005; Pereira & Requeijo, 2012; Cruz, 2013). As seguintes sete ferramentas da qualidade proporcionam a qualquer organização a possibilidade de recolha, tratamento e análise da generalidade dos seus dados: Fluxograma, Folhas de Registo e Verificação, Histograma, Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa-e-Efeito ou Diagrama de Ishikawa ou Diagrama em Espinha-de-Peixe, Gráfico de Dispersão e Cartas de Controlo (Oakland, 2008).

O principal objetivo do CEP é detetar rapidamente a ocorrência de causas especiais de variação no processo, para que a sua investigação e aplicação de ações corretivas, permitam a redução do fabrico de unidades não conformes. As ferramentas que melhor se adequam ao pretendido são as cartas de controlo, que permitem monitorizar o processo em tempo real, estimar os parâmetros de um processo de produção e determinar a sua capacidade. As cartas de controlo são uma ferramenta poderosa do CEP que disponibilizam

informações úteis acerca da melhoria do processo e eficazes na redução da variabilidade do mesmo (Montgomery, 2009).

A variabilidade de um processo deve-se a fontes de variação que prejudicam as características da qualidade, das quais se destacam, os equipamentos, a matéria-prima, a mão-de-obra, o meio ambiente, os métodos e a metrologia (Pereira & Requeijo, 2012). As fontes de variação podem provocar alterações que se manifestam a curto ou a longo prazo, que podem resultar em causas de variação que se dividem em comuns ou aleatórias e especiais ou assinaláveis (Pires, 2007; Pereira & Requeijo, 2012).

As causas comuns são fontes de variação, que afetam um processo que se encontra sob controlo estatístico. O processo encontra-se sob controlo estatístico, quando apenas está sujeito a causas comuns de variação. Alguns exemplos são as flutuações térmicas, atmosféricas, elétricas, humidade, vibração natural do equipamento e o estado físico e/ou emocional dos operadores. A atenuação do efeito destas causas implica a tomada de decisões por parte da gestão de topo, o que requer um grande investimento em alterações no sistema de produção, nomeadamente, em equipamento de produção, aperfeiçoamento em métodos de produção e novos fornecedores (Oakland, 2008; Pereira & Requeijo, 2012).

As causas especiais são fontes de variação esporádica e de magnitude superior às causas comuns de variação que não se enquadram na distribuição seguida por uma característica quando o processo está sob controlo estatístico. Sempre que este tipo de causa é detetado diz-se que o processo está fora de controlo, o que exige a sua imediata eliminação por parte de operadores mais próximos do processo (Pereira & Requeijo, 2012).

Um dos principais objetivos das cartas de controlo é a distinção entre as causas comuns e as causas especiais, evitando a reação exagerada e a falta de reação ao processo. A distinção entre estes dois tipos de causas de variação está dependente do contexto em que se inserem, visto que uma causa comum hoje pode ser uma causa especial amanhã (Woodall, 2000).

2.3 Cartas de controlo

As cartas de controlo foram desenvolvidas por Walter Shewhart, enquanto membro da equipa técnica na *Bell Telephone Laboratories*, em 1931 publicou o seu trabalho num livro intitulado “*Economic Control of Quality of Manufactured Product*” (Shewhart, 1931; ISO 8258-2:2005).

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

A construção de uma carta de controlo segue um modelo geral, que mostra a evolução de uma estatística (ω) ao longo do tempo (t), referente a uma característica da qualidade, essa estatística pode ser a média, a mediana, o desvio padrão ou mesmo os valores individuais das observações. Nas cartas de controlo são ainda representadas para além da evolução do processo relativos ao par (t, ω) o limite superior (LSC) e inferior (LIC) de controlo estatístico e a linha central (LC).

A **Figura 1** representa um esquema ilustrativo de uma carta de controlo típica.

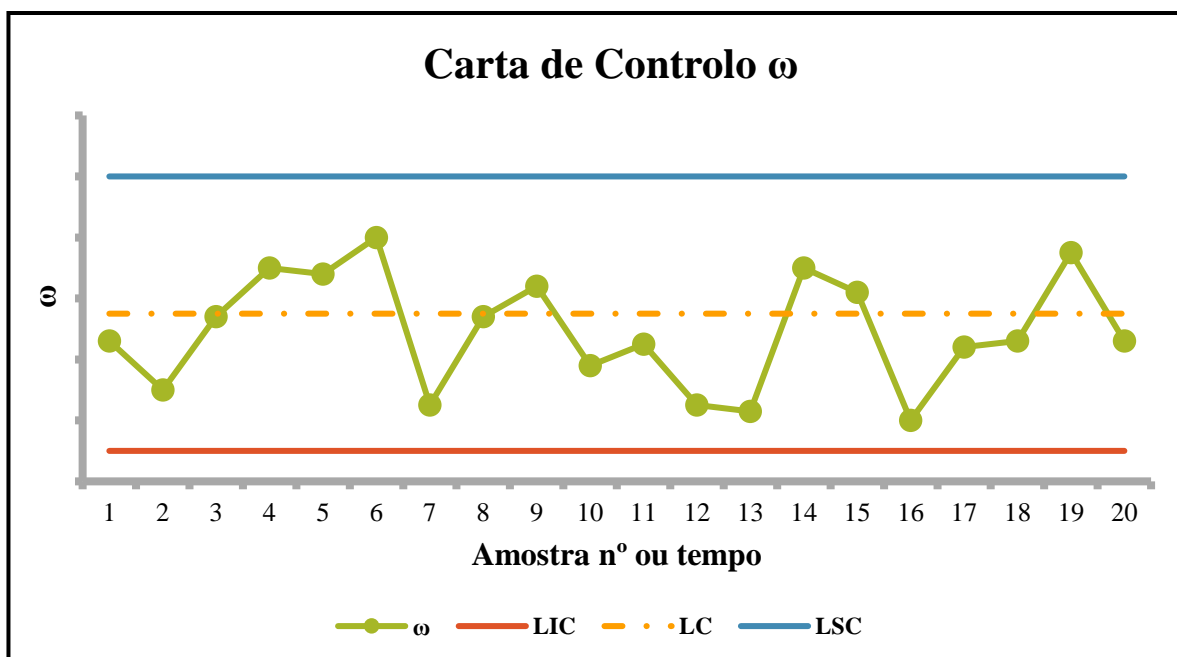


Figura 1: Esquema de uma carta de controlo (Adaptado de Pereira & Requeijo, 2012).

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

e implementar ações corretivas (Shewhart, 1931; Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012; Oliveira, Granato, Caruso & Sakuma, 2013).

O cálculo dos limites de controlo de uma carta, assumindo que os valores da estatística ω seguem uma distribuição Normal $N(\mu_\omega, \sigma_\omega^2)$, podem ser calculados pelas seguintes equações (Pereira & Requeijo, 2012):

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

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

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

Representando μ_ω e σ_ω nas equações respetivamente a média e o desvio padrão da estatística ω (Montgomery, 2009). Os limites de controlo estão situados a $\pm 3\sigma_\omega$ da linha central, isto significa que a probabilidade de qualquer ponto da distribuição ω se situar entre os limites é de 99,73% (Pereira & Requeijo, 2012). O método seis sigma amplamente referido em manuais e trabalhos de aplicação do CEP tem o seu nome ligado à amplitude do intervalo dos limites da carta de controlo. Os limites de aviso $\pm 1\sigma_\omega$ e $\pm 2\sigma_\omega$ posteriormente incluídos nas cartas de controlo auxiliam a identificação de possíveis quebras de aleatoriedade na distribuição das estatísticas em causa.



Figura 2: Zonas de uma carta de controlo com distribuição normal (Retirado de Matos, 2016, p.25).

Deste modo, existem inúmeras vantagens decorrentes da implementação das cartas de controlo que as tornam uma ferramenta bastante útil, das quais se destacam a prevenção da ocorrência de produto não conforme, a distinção entre causas de variação comum e especiais, a facilidade de utilização pelo operador no seu cargo, a consistência e previsão

da qualidade e custos, a redução dos custos por unidade produzida, proporcionando uma linguagem comum tornando o processo previsível (Pereira & Requeijo, 2012).

2.3.1 Processo de construção das cartas de controle

O processo de construção das cartas de controle é geralmente diferenciado em duas fases na sua implementação: a Fase 1 e a Fase 2. Na Fase 1 ainda são desconhecidos os parâmetros do processo, procede-se à recolha dos dados para a construção das cartas de controle, estima-se os parâmetros do processo e verifica-se a sua capacidade. Nesta fase, quando se deteta uma causa especial de variação, a amostra em causa deve ser eliminada e a respetiva carta atualizada. Contudo, caso se verifiquem várias causas especiais de variação ao longo da carta, estas devem ser investigadas e corrigidas, e posteriormente recolhidos novos dados. Quando o processo se encontra sob controle estatístico procede-se à estimação dos parâmetros e à análise da capacidade do processo. Na Fase 2 é efetuada a monitorização do processo tendo como base os parâmetros estimados na fase anterior. Nesta fase sempre que é detetada a ocorrência de uma causa especial de variação, esta deve ser investigada e implementadas medidas corretivas (Pereira & Requeijo, 2012).

As principais etapas para a construção das cartas de controle usuais na Fase 1 do processo são as seguintes (Pereira & Requeijo, 2012):

1. Seleção da característica da qualidade;
2. Elaboração de um plano de controle no qual conste a dimensão da amostra, a frequência da amostragem, o equipamento e o método de medição;
3. Seleção do tipo de carta de controle mais adequada à função;
4. Recolha de m amostras de dimensão n durante um delimitado período de tempo, finalizando com um total de N unidades ($N = m \times n$), de forma que $N \geq 100$;
5. Cálculo da estatística a controlar para cada uma das m amostras;
6. Determinação dos limites de controle e da linha central;
7. Verificação da existência de causas especiais de variação;
8. Eliminação da existência de causas especiais de variação;
9. Determinação de novos valores para os limites de controle e para a linha central;
10. Construção de uma carta de controle revista;
11. Verificação da estabilidade do processo, ou seja, se apresenta apenas causas comuns de variação.

Na Fase 2 do CEP as etapas necessárias para a construção das cartas de controlo, uma vez que já foi definida a característica, o plano de controlo e o tipo de carta, são as seguintes (Pereira & Requeijo, 2012):

1. Representação na carta de controlo dos limites de controlo e da linha central definidos na Fase 1 do CEP;
2. Recolha da amostra i , determinação da estatística ω_i e representação do seu valor no gráfico;
3. Verificação do valor representado no gráfico caso corresponda a uma causa especial de variação;
4. Identificação da causa e implementação de ações corretivas caso se detete uma situação fora de controlo (causa especial de variação);
5. Recolha da amostra $i + 1$, cálculo $\omega_i + 1$, representando o respetivo valor;
6. Repetição sequencial dos pontos 3, 4 e 5.

No entanto, Palm (2000) não concorda com estas fases, defendendo um desenvolvimento em três estados, o estado A que corresponde ao início e à fase de retrospectiva do processo, o estado intermédio, B, que corresponde a uma fase de melhoria do processo e por último o estado C que corresponde à fase de monitorização do processo.

2.3.2 Recolha de dados

A recolha de dados é um procedimento crucial na implementação do CEP, pois se for realizada de forma incorreta pode correr-se o risco de todas as conclusões retiradas do estudo estejam erradas. Nesta fase é importante definir a dimensão da amostra e a frequência de amostragem, assim como as unidades que constituem uma amostra devem cumprir determinados requisitos (Pereira & Requeijo, 2012).

2.3.2.1 Subgrupos racionais

Na elaboração das cartas de controlo é fundamental que a recolha dos dados seja efetuada de acordo com o que Walter Shewhart intitulou de subgrupos racionais. Neste caso, as amostras devem ser selecionadas de modo a que, caso existam causas especiais de variação, a probabilidade de existirem diferenças entre subgrupos é maximizada, enquanto que a probabilidade de existirem diferenças dentro dos subgrupos é minimizada. As amostras selecionadas devem ser homogéneas, sendo atribuída a variação entre amostras a causas

especiais e a variação dentro das amostras a causas aleatórias (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012).

Existem dois métodos principais para a elaboração dos subgrupos racionais. No primeiro método, cada amostra selecionada consiste em unidades que foram produzidas no mesmo instante ou o mais próximo possível, sendo ideal a utilização de unidades de produção consecutivas. É utilizado em cartas de controlo quando o seu principal objetivo é a deteção de alterações ao nível do processo, minimizando a probabilidade de ocorrência de variância dentro de amostras devido a causas especiais de variação, e maximizando a probabilidade de ocorrência de variância entre amostras, fornecendo uma melhor estimativa de desvio padrão do processo no caso de cartas de controlo de variáveis. No segundo método, cada amostra selecionada consiste em unidades de produção que representam todas as unidades produzidas desde a recolha da última amostra, ou seja, cada subgrupo é uma amostra aleatória de todos os outputs do processo ao longo do intervalo da amostra. O método é utilizado quando as cartas de controlo têm como principal objetivo o auxílio na deliberação sobre a aceitação de todas as unidades produzidas desde a última amostra (Montgomery, 2009).

2.3.2.2 Dimensão das amostras e frequência de amostragem

A escolha da dimensão da amostra deve ser efetuada de acordo com a ordem de grandeza da alteração que se pretende obter, uma vez que quando a dimensão da amostra aumenta, é mais fácil detetar pequenas alterações no processo, verificando-se o mesmo em relação à frequência de amostragem. Comumente, a dimensão das amostras usadas no controlo de variáveis contínuas é pequena, utilizando-se quatro ou cinco unidades no caso de controlo de médias e amplitudes (Pereira & Requeijo, 2012).

Na elaboração da Fase 1 devem ser recolhidas m amostras de dimensão n , perfazendo um total de N unidades ($N = m \times n$), de modo que $N \geq 100$. No entanto, autores como Quesenberry (1997) não concordam com esta prática e propõem como alternativa a relação entre o número de amostras m e a dimensão da amostra n dada por $m(n-1) \geq 400$. O autor ainda refere que na Fase 1 de implementação em caso de observações individuais, deviam ser recolhidas no mínimo 300 amostras (Quesenberry, 1997, citado por Pereira & Requeijo, 2012).

Relativamente à frequência de amostragem numa fase inicial do processo, devem ser retiradas amostras com frequência a intervalos adequados para se perceber se o processo

sofre alterações, ou se pelo contrário se mantém estável ao longo do tempo. Quando o processo é considerado estável ou são inseridas modificações para melhorar o desempenho do mesmo, a frequência tende a diminuir (Pereira & Requeijo, 2012).

2.3.3 Regras para detecção de causas especiais

A *Western Electric Company* (1956) com o principal objetivo de identificar padrões não aleatórios, publicou um livro, onde constam as oito regras que indicam a presença de causas especiais de variação. Ao longo dos anos foram publicadas diversas regras que permitem identificar estes padrões, mas que não sofreram grandes alterações.

Segundo a Norma ISO 8258-2:2005, para se detetar causas especiais de variação num processo, devem ser consideradas as seguintes oito regras:

- **Regra 1:** Um ou mais pontos fora dos limites de controlo ($LC \pm 3\sigma_o$);
- **Regra 2:** Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da mesma do mesmo lado da linha central;
- **Regra 3:** Seis pontos consecutivos em sentido crescente ou decrescente;
- **Regra 4:** Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;
- **Regra 5:** Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central;
- **Regra 6:** Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central;
- **Regra 7:** Quinze pontos consecutivos na zona C (tanto acima como abaixo da linha central);
- **Regra 8:** Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central (sem nenhum na zona C).

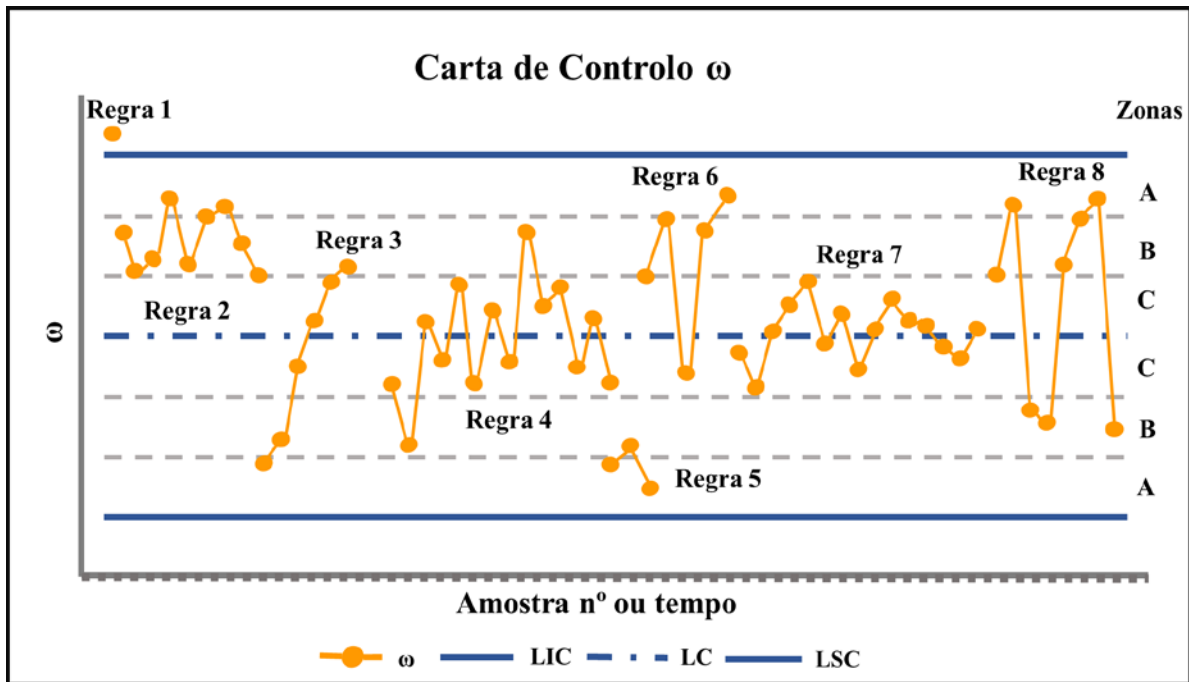


Figura 3: Regras para a deteção no processo de causas especiais de variação (Adaptado de Pereira & Requeijo, 2012).

Na identificação e interpretação das regras, a carta de controlo encontra-se dividida em seis zonas, designadas por A, B e C, simétricas à zona central. A divisão é estabelecida em função dos limites de controlo, $LC \pm 3\sigma_\omega$, e dos limites de aviso $LC \pm 2\sigma_\omega$ e $LC \pm 1\sigma_\omega$ (Baldassarre, Boffoli & Caivano, 2010; Pereira & Requeijo, 2012).

Estas regras têm como principal objetivo aumentar a sensibilidade das cartas de controlo na deteção das causas especiais de variação. Mas a sua aplicação pode incitar ao aumento do número de falsos alarmes, provocando um aumento substancial nos custos da qualidade. Numa fase inicial de implementação do CEP, quando o processo não está estabilizado, a aplicação destas regras pode ser útil, mas o seu uso contínuo não é aconselhável na deteção de pequenas alterações (ISO 8258-2:2005; Pereira & Requeijo, 2012).

2.3.4 Tipos de cartas de controlo

As cartas de controlo podem ser divididas em dois grupos diferentes, que se designam respetivamente, por cartas de controlo de variáveis e cartas de controlo de atributos.

As cartas de controlo de variáveis são aplicadas quando as características em estudo são expressas numa escala contínua. Nestes casos, devem ser construídas duas cartas de controlo, uma para controlar o parâmetro de localização e outra para controlar o parâmetro

de dispersão da população. Exemplo típico deste tipo de cartas inclui dimensões, peso, porosidade, concentração química e custo (Stapenhurst, 2005; Pereira & Requeijo, 2012).

As cartas de controlo de atributos são usadas quando as características da qualidade em análise não podem ser medidas numa escala contínua e assumem valores discretos, como por exemplo, o número de unidades não conformes ou o número de defeitos detetados numa linha de produção. Neste caso constrói-se apenas uma carta de controlo. Exemplo específico deste tipo de cartas são o número de queixas, acidentes, rejeições, encomendas, erros e falhas (Stapenhurst, 2005; Pereira & Requeijo, 2012).

No seguinte **Quadro 1** são apresentadas as cartas mais utilizadas no controlo estatístico tradicional de variáveis e de atributos.

Quadro 1: Tipos de cartas de controlo mais utilizadas no controlo de variáveis e de atributos.

Cartas de Controlo	
Variáveis	Média e Amplitude Carta \bar{X} e Carta R
	Média e Desvio Padrão Carta \bar{X} e Carta S
	Média e Variância Carta \bar{X} e Carta S^2
	Mediana e Amplitude Carta \tilde{X} e Carta R
	Observações Individuais e Amplitudes Móveis Carta X e Carta MR
Atributos	Proporção de unidade não conformes Carta p
	Número de unidades não conformes Carta np
	Número de defeitos Carta c
	Número de defeitos por unidade Carta u

Segundo Pereira & Requeijo (2012).

Na presente dissertação apenas são abordadas as cartas de controlo de variáveis, mais concretamente as cartas de observações individuais e das amplitudes móveis utilizadas no estudo prático. Os parâmetros analisados são variáveis contínuas e o método de amostragem corresponde à recolha de observações individuais. Deste modo apresentam-se apenas os fundamentos das cartas de controlo de observações individuais e das amplitudes móveis, remetendo-se os outros casos para a bibliografia (Juran & Godfrey, 1999; Hubbard, 2003;

Stapenhurst, 2005; Coleman, Greenfield, Stewardson & Montgomery, 2008; Kulahci & Borror, 2008; Coskun, 2010; Oliveira *et al.*, 2013).

As cartas de controlo de variáveis devem ser aplicadas em vez das cartas de controlo de atributos, sempre que o controlo de características medidas numa escala contínua seja economicamente viável. A sua aplicação apresenta inúmeras vantagens relativamente às cartas de controlo de atributos, das quais se destacam (Pires, 2007; Pereira & Requeijo, 2012):

- Numa escala contínua a generalidade dos processos e produtos exibem características mensuráveis;
- A medição possui mais informação do que uma avaliação feita em termos de uma escala sim-não;
- Neste tipo de cartas é necessária a recolha de menos dados, o que pode implicar um menor custo relativamente à aplicação das cartas de controlo de atributos;
- O tempo para a deteção e resolução de problemas é menor, uma vez que não é necessária muita informação, originando menos produto não conforme;
- A análise do comportamento global do processo fornece soluções para a melhoria do desempenho do processo e qualidade do produto.

2.3.4.1 Cartas de controlo de observações individuais e da amplitude móvel

A carta de controlo de observações individuais (X) e da amplitude móvel (MR) é utilizada quando a amostra é constituída por uma única observação individual ($n = 1$). Neste caso, como são utilizadas observações individuais não é possível obter indicações sobre a dispersão do processo num dado instante. Assim, o problema é contornado com recurso a amostras fictícias, constituídas por duas observações sucessivas com as quais é calculada a amplitude móvel através da seguinte equação (Montgomery, 2009; Pereira & Requeijo, 2012; Oliveira *et al.*, 2013).

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (2.4)$$

Os valores da linha central correspondentes à média dos m valores da variável e a média das $(m-1)$ amplitudes móveis são calculadas através das equações (Pereira & Requeijo, 2012; Oliveira *et al.*, 2013).

$$LC_X = \bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \quad (2.5)$$

$$LC_{MR} = \overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} MR_i \quad (2.6)$$

Para o cálculo dos limites de controlo da carta de observações individuais (X) e da carta das amplitudes móveis (MR) utilizam-se as seguintes equações (Pereira & Requeijo, 2012; Oliveira *et al.*, 2013).

$$LSC_X = \bar{X} + \frac{3\overline{MR}}{d_2} \quad (2.7)$$

$$LIC_X = \bar{X} - \frac{3\overline{MR}}{d_2}$$

$$LSC_{MR} = \overline{MR} + 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = D_4 \overline{MR} \quad (2.8)$$

$$LIC_{MR} = \overline{MR} - 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = D_3 \overline{MR}$$

Neste tipo de cartas as constantes d_2 , d_3 , D_4 e D_3 dependem do número de observações individuais utilizadas para calcular cada amplitude móvel. Na presente dissertação apenas se utilizaram duas observações, usando os valores das constantes para ($n = 2$), no Anexo I da presente dissertação.

2.3.5 Estimação dos parâmetros do processo

Terminada a Fase 1, o processo encontra-se sob controlo estatístico sendo possível estimar os seus parâmetros, a média (μ) e o desvio padrão (σ). O seguinte **Quadro 2** demonstra as estimativas dos parâmetros do processo para cada uma das cartas de controlo de variáveis.

Quadro 2: Estimacão dos parâmetros do processo.

Cartas de Controlo de Variáveis	Média (μ)	Desvio Padrão (σ)
Média e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Média e Desvio Padrão	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$
Média e Variância	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \bar{S}^2$
Mediana e Amplitude	$\hat{\mu} = \bar{\tilde{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
Observaces Individuais e Amplitudes Móveis	$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$

Adaptado de Pereira & Requeijo (2012).

2.3.6 Resumo e aplicaes das cartas de controlo de variáveis

O **Quadro 3** apresenta um resumo das equaes que podem ser aplicadas no cálculo dos limites para a construo das cartas de controlo de variáveis.

Quadro 3: Resumo das equaes necessárias ao cálculo dos limites das cartas de controlo de variáveis.

Carta de Controlo de Variáveis		LSC	LC	LIC
Média e Amplitude	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
	R	$D_4 \bar{R}$	\bar{R}	$D_3 \bar{R}$
Média e Desvio Padrão	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$
	S	$B_4 \bar{S}$	\bar{S}	$B_3 \bar{S}$
Média e Variância	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - 3\sqrt{\frac{\bar{S}^2}{n}}$
	S^2	$\frac{\bar{S}^2}{n-1} \chi_{(1-\alpha/2);n-1}^2$	\bar{S}^2	$\frac{\bar{S}^2}{n-1} \chi_{(1-\alpha/2);n-1}^2$
Mediana e Amplitude	\tilde{X}	$\tilde{\bar{X}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$	$\tilde{\bar{X}}$	$\tilde{\bar{X}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$
	R	$D_4 \bar{R}$	\bar{R}	$D_3 \bar{R}$
Observaces Individuais e Amplitudes Móveis	X	$\bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2} \overline{MR}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2} \overline{MR}$
	MR	$D_4 \overline{MR}$	\overline{MR}	$D_3 \overline{MR}$

Adaptado de Pereira & Requeijo (2012).

2.3.7 Medidas de desempenho das cartas de controlo

O desempenho de uma carta de controlo  normalmente estimado com base na frequência com que se assinala um processo fora de controlo (taxa de falsos alarmes), e na

lenta detecção de alterações específicas no processo (atraso excessivo na detecção). Contudo, o desempenho geral de uma carta de controle não pode ser aperfeiçoado, uma vez que ao alterar um dos fatores de desempenho irá afetar negativamente o outro (Kulahci & Borrór, 2008).

Na fase de construção de uma carta de controle têm de ser tomadas decisões devidamente ponderadas ao nível do estabelecimento dos limites de controle, pois existe sempre um risco associado à sua análise. Ao afastar os limites de controle da linha central reduz-se o risco de ocorrência de um erro do tipo I, isto é, o risco de um ponto no gráfico transpor os limites de controle assinalando uma situação de fora de controle, quando na realidade não existe nenhuma causa especial de variação. Porém, o aumento da distância entre os limites de controle, aumenta o risco de ocorrência de um erro do tipo II, ou seja, o risco de existirem pontos entre os limites de controle quando na realidade o processo se encontra fora de controle estatístico. Sendo assim, ao reduzir a distância entre os limites de controle sucede-se o efeito oposto, em que o risco de ocorrer um erro do tipo I aumenta, mas diminui a probabilidade de ocorrer um erro do tipo II (Montgomery, 2009).

Uma medida essencial de avaliação do desempenho das cartas de controle é facultada pelo valor de *Average Run Length* (*ARL*) (Ye, 2003; Montgomery, 2009). O *ARL* representa um número previsto de pontos numa carta de controle até existir um ponto fora de controle:

$$ARL = \frac{1}{p}, \quad (2.9)$$

onde p é a probabilidade de qualquer ponto exceder os limites de controle (Ye, 2003; Kulahci & Borrór, 2008; Montgomery, 2009). Se um processo estiver sob controle estatístico, mas surge um ponto fora dos limites 3σ , então ocorreu um falso alarme (Ye, 2003; Kulahci & Borrór, 2008). Por exemplo, considerando o gráfico de controle \bar{X} com um desvio padrão limite de 3σ , a probabilidade de um ponto ultrapassar os limites de controle quando o processo se encontra sob controle estatístico é de $p = 0,0027$ (Kulahci & Borrór, 2008). Efetivamente a região de rejeição da hipótese “o processo está sob controle” tem uma probabilidade correspondente às causas da distribuição normal em que $p = P(z < -3) + P(z > 3) = 0,0027$, onde z é a variável normal reduzida.

Poderá ocorrer um ponto fora do controlo a cada $1/0,0027 = 370$ pontos. Mesmo que o processo esteja sob controlo estatístico. Isto indica que um falso alarme sucederia a cada 370 amostras ou observações (Ye, 2003; Kulahci & Borrór, 2008; Montgomery, 2009). Se o processo estiver estatisticamente controlado é geralmente desejável um maior valor de *ARL*. Caso o processo esteja realmente fora de controlo é desejável um menor valor de *ARL*. Um menor valor de *ARL* significa que a carta de controlo vai ter um ponto fora do controlo logo após uma alteração no processo. O $ARL_{ForadeControlo}$ é calculado a partir da seguinte equação (Ye, 2003; Kulahci & Borrór, 2008).

$$ARL_{ForadeControlo} = ARL_{Fc} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (2.10)$$

Onde β é a probabilidade de não deteção de alteração no processo quando esta respetivamente ocorreu. O $ARL_{ForadeControlo}$ é o número esperado de pontos observados antes de uma mudança ser detetada, quando o processo se encontra fora de controlo (Ye, 2003; Kulahci & Borrór, 2008).

Em suma, o *ARL* é a medida mais utilizada na avaliação do desempenho das cartas de controlo, garantindo um maior valor de $ARL_{EmControlo}$ diminuindo o número de falsos alarmes, e um menor valor possível de $ARL_{ForadeControlo}$ permitindo detetar com maior rapidez eventuais alterações dos parâmetros do processo (Pereira & Requeijo, 2012).

2.4 Condições para a aplicação das cartas de controlo

Na correta implementação das cartas de controlo é necessária a verificação de três pressupostos, a aleatoriedade, a independência e a normalidade, relativamente à variável utilizada na sua construção. Os dados da característica selecionada para o estudo devem ser aleatórios, independentes e devem seguir uma distribuição normal com média μ e variância σ^2 , para que se possa retirar conclusões fiáveis. Isto implica, que em determinado instante t , a variável X é definida pela fórmula $X_t = \mu + \varepsilon_t$, em que ε é uma variável aleatória com média zero e variância σ^2 , designada por ruído branco (Pereira & Requeijo, 2012).

2.4.1 Aleatoriedade dos dados

Os dados podem não verificar aleatoriedade devido a vários fatores, tais como, a mistura de diferentes populações, a existência de correlação entre observações sucessivas ou desfasadas no tempo. Existem diversos métodos utilizados na verificação da aleatoriedade dos dados de uma distribuição, em que os mais usados e significativos para este tipo de estudo são o Teste das Sequências, o Teste das Sequências Ascendentes e Descendentes e o Teste Modificado do Quadrado Médio das Diferenças Sucessivas (Pereira & Requeijo, 2012).

2.4.2 Independência dos dados

A independência dos dados é fundamental na aplicação das cartas de controlo estatístico. Os dados são independentes quando não existe auto-correlação entre os mesmos, isto é, o valor que a variável da característica da qualidade adquire em determinado instante t , não depende do seu valor no instante anterior $(t-1)$, nem do seu valor em qualquer instante desfasado de k instantes $(t-k)$ (Pereira & Requeijo, 2012).

Quando se verifica a existência de auto-correlação é necessário adotar abordagens diferentes e mais refletidas em relação ao processo estatístico. Esta situação impede a verificação da estabilidade do processo ao longo do tempo, impedindo a distinção entre as causas comuns e as causas especiais de variação. Neste caso existem duas situações que requerem análises distintas. Quando a auto-correlação dos dados é inalterável ao longo do processo, não é vantajosa a aplicação das cartas de controlo estatístico, sendo necessária a aquisição de novas metodologias. Por outro lado, a existência deste pressuposto pode ocorrer devido a causas especiais de variação, para detetar esta situação devem ser aplicadas as cartas de controlo estatístico (Alwan & Roberts, 1988; Gilbert, Kirby & Hild, 1997).

A forma mais adequada de verificar a existência de auto-correlação é através da aplicação da Função de Auto-Correlação (FAC) e da Função de Auto-Correlação Parcial (FACP) (Pereira & Requeijo, 2012).

2.4.3 Normalidade dos dados

Na aplicação do CEP através das cartas de controlo tradicionais de Shewhart é necessário que as características em estudo sigam uma distribuição aproximadamente normal, caso isso não se verifique pode conduzir a conclusões equivocadas ao nível do desempenho do processo.

Existem métodos que permitem verificar a normalidade dos dados, os mais usuais são o teste do Qui-Quadrado, o teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste de Shapiro-Wilk (D'Agostinho & Stephens, 1986). Estes permitem avaliar, para um dado nível de significância, se a amostra provém de uma população que segue distribuição normal, caso a hipótese de normalidade seja rejeitada. O teste do Qui-Quadrado baseia-se na distribuição das observações por classes e na comparação das frequências observadas com as frequências esperadas assumindo a normalidade da distribuição, não sendo aplicável a pequenas amostras. O teste de Kolmogorov-Smirnov baseia-se na avaliação da distância entre a função de distribuição empírica da amostra e a função de distribuição normal. Caso a distribuição normal tenha parâmetros desconhecidos, o que é frequente, os percentis da distribuição Kolmogorov-Smirnov são estimados através do método de Lilliefors. O teste de Shapiro-Wilk permite avaliar se, uma amostra provém de uma população normal, quaisquer que sejam μ e σ^2 e baseia-se na razão entre estimativa de escala. Estes testes são amplamente descritos em vários manuais de estatística, pois são os mais comuns, por exemplo Paulo (2013). Uma abordagem mais aprofundada dos testes de ajustamento é apresentada por D'Agostinho e Stephens (1986).

O método do CEP tem de ser modificado por uma das três possíveis abordagens (Agostinho, 2011; Pereira & Requeijo, 2012):

- Caracterização da distribuição da característica da qualidade, com recurso aos dados disponíveis (Sistema de Distribuições de Pearson (SDP));
- Transformação dos dados disponíveis para obtenção de uma variável transformada normalmente distribuída (Transformação de Box Cox ou Sistema de Distribuição de Johnson (SDJ));
- Método da Variância Ponderada (método *WV*) para distribuições assimétricas.

No ajustamento à distribuição normal, o teste de Kolmogorov-Smirnov apresenta diversas vantagens relativamente ao teste do Qui-Quadrado (Pereira & Requeijo, 2012):

- O teste de Kolmogorov-Smirnov é mais adequado para amostras de pequenas dimensões ao contrário do teste do Qui-Quadrado em que a estatística de teste apresenta uma distribuição aproximada;
- O teste de Kolmogorov-Smirnov é mais potente, ou seja, está mais apto a rejeitar H_0 quando H_1 é falsa.

No entanto, a estatística de teste apresenta uma distribuição imprecisa quando μ e σ são desconhecidos.

2.4.4 Não Normalidade e Transformações

A transformação dos dados é uma boa alternativa, de modo a que a variável transformada apresente uma distribuição aproximadamente normal. Os dois métodos mais utilizados para este tipo de transformações das variáveis são a transformação de Box e Cox e a transformação com recurso ao SDJ.

2.4.4.1 Transformação de Box Cox

Em 1964, Box e Cox desenvolveram um método que permite determinar o parâmetro de transformação mais adequado, apropriado para transformar os dados originais numa distribuição aproximadamente normal (Box & Cox, 1964; Pereira & Requeijo, 2012). A transformação dos dados é obtida através da seguinte equação.

$$Y_T = \begin{cases} \ln Y, \lambda = 0 \\ \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda}, \lambda \neq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Onde λ é o parâmetro de transformação e Y a variável resposta. O parâmetro λ é escolhido por forma a minimizar o desvio entre os dados transformados e a distribuição normal. A transformação de Box-Cox para o parâmetro λ otimizado não garante a distribuição normal dos dados transformados pelo que se torna necessário proceder à sua verificação (Pereira & Requeijo, 2012).

2.4.4.2 Transformação Segundo o Sistema de Distribuições de Johnson

A segunda metodologia para a transformação dos dados é a transformação com recurso às distribuições de Johnson. Em 1949, Johnson propõe o SDJ que tem como principal objetivo a obtenção de uma variável Z com distribuição normal reduzida, através de transformações de uma determinada variável X (Johnson, 1949). O SDJ é composto por três famílias de distribuições caracterizadas por quatro parâmetros que resultam de transformações através da seguinte equação (Johnson, 1949; Slifker & Shapiro, 1980; Pereira & Requeijo, 2012).

$$Z = \gamma + \eta k_i(X; \lambda, \varepsilon) \quad (2.12)$$

Sendo,

- Z - Variável normal reduzida
- $\gamma, \eta, \lambda, \varepsilon$ - Parâmetros do SDJ
- X - Variável aleatória original
- $k_i(X; \lambda, \varepsilon)$ - Função com várias distribuições

As funções essenciais à determinação de cada uma das três famílias do SDJ, são definidas pelas seguintes equações (Slifker & Shapiro, 1980; Pereira & Requeijo, 2012).

$$S_U = k_1(X; \lambda, \varepsilon) = \sinh^{-1}\left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda}\right) \quad (2.13)$$

$$S_B = k_2(X; \lambda, \varepsilon) = \ln\left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - X}\right) \quad (2.14)$$

$$S_L = k_3(X; \lambda, \varepsilon) = \ln\left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda}\right) \quad (2.15)$$

O **Quadro 4**, apresenta as condições de aplicação do SDJ em relação aos parâmetros das distribuições e em relação ao domínio da variável transformável X , assim como as equações necessárias à transformação dos dados para cada uma das três famílias (Pereira & Requeijo, 2012).

Quadro 4: Equações e condições para cada uma das três famílias do SDJ.

Família do SDJ	Transformação	Condições para os parâmetros	Domínio de X
S_B	$Z = \gamma + \eta \ln\left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - X}\right)$	$\eta, \lambda > 0$ $-\infty < \gamma < \infty$ $-\infty < \varepsilon < \infty$	$\varepsilon < X < \varepsilon + \lambda$
S_L	$Z = \gamma + \eta \ln(X - \varepsilon)$	$\eta > 0$ $-\infty < \gamma < \infty$ $-\infty < \varepsilon < \infty$	$X > \varepsilon$
S_U	$Z = \gamma + \eta \sinh^{-1}\left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda}\right)$	$\eta, \lambda > 0$ $-\infty < \gamma < \infty$ $-\infty < \varepsilon < \infty$	$-\infty < X < \infty$

Segundo Pereira & Requeijo (2012).

No SDJ para transformar a variável X , vários autores como Slifker e Shapiro (1980) e, Pereira e Requeijo (2012) propõem o seguinte procedimento:

- Determinar qual das três famílias de distribuições se ajusta à distribuição de X , usando o índice *Quantile Ratio* (QR);
- Estimar os parâmetros da distribuição $\gamma, \eta, \lambda, \varepsilon$;
- Transformar os dados de acordo com as equações mais apropriadas exibidas no

Quadro 4.

Existem três métodos comuns para estimação dos parâmetros da distribuição: método dos momentos, método da máxima verosimilhança e o método dos percentis. Na presente dissertação aplicou-se o método dos percentis e como tal será abordado com maior destaque em relação aos demais. A identificação da família da distribuição também recorre ao método dos percentis à semelhança de outros trabalhos em CEP na área alimentar (Agostinho, 2011).

O método dos momentos é um dos métodos que exige mais trabalho ao nível da estimação dos parâmetros da distribuição devido ao uso de vários cálculos complexos. Atualmente com recurso a várias aplicações informáticas para este tipo de métodos este obstáculo é rapidamente ultrapassado (Pereira & Requeijo, 2012).

O método da máxima verosimilhança é de difícil aplicação ao nível do SDJ, pois não é possível a obtenção explícita das estimativas dos parâmetros. Por outro lado, é possível a aquisição de estimativas a partir da máxima verosimilhança dos parâmetros γ e η , quando os valores dos parâmetros λ e ε são conhecidos o que raramente acontece (Pereira & Requeijo, 2012).

O método dos percentis recorre a cálculos de fácil aplicação e que permite a identificação da família de distribuições de Johnson que melhor se ajusta, bem como a determinação dos parâmetros com recurso a quatro percentis relativos aos dados em estudo. Os percentis utilizados são denominados de $-sz$, $-z$, z e sz , sendo s e z valores positivos, com $s > 1$ e z a variável normal reduzida (Pereira & Requeijo, 2012).

Alguns autores como Slifker e Shapiro (1980), propõem a utilização de um $s = 3$ e de um valor de $z = 0,524$, que corresponde ao percentil 70% da distribuição normal reduzida (Slifker & Shapiro, 1980; Pereira & Requeijo, 2012). Esta proposta foi adotada na presente dissertação.

Através dos quatro percentis considerados, $-3z$, $-z$, z e $3z$ são determinadas as respetivas probabilidades acumuladas da distribuição normal reduzida,

$q_1 = \Phi(-3z) = 0,0580$; $q_2 = \Phi(-z) = 0,3001$; $q_3 = \Phi(z) = 0,6999$ e $q_4 = \Phi(3z) = 0,9420$.

De seguida, determina-se o valor de X_i , para valores de $i = 1, 2, 3, 4$ (Pereira & Requeijo, 2012).

$$i = Nq_i + 0,5 \quad (2.16)$$

Obtém-se seguidamente o índice QR definido por (Pereira & Requeijo, 2012):

$$QR = \frac{(X_4 - X_3)(X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2)^2} \quad (2.17)$$

Considerando $m = X_4 - X_3$; $n = X_2 - X_1$; $p = X_3 - X_2$, a equação anterior pode ser simplificada por:

$$QR = \frac{mn}{p^2} \quad (2.18)$$

Este índice permite determinar a que família das distribuições de Johnson pertencem os dados de acordo com os seguintes critérios (Slifker & Shapiro, 1980; Pereira & Requeijo, 2012):

- $QR < 1$, X pertence à família de distribuição S_B
- $QR = 1$, X pertence à família de distribuição S_L
- $QR > 1$, X pertence à família de distribuição S_U

Uma vez identificada a família das distribuições de Johnson segue-se a estimação dos parâmetros γ , η , λ e ε .

A determinação de cada parâmetro consoante a família das distribuições de Johnson a que pertence, considerando m , n e p mencionados anteriormente, pode ser obtida através das equações (Johnson, 1949).

- **Distribuição de Johnson S_B**

$$\eta = \frac{z}{\cosh^{-1} \left[\frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{p}{m} \right) \left(1 + \frac{p}{n} \right) \right]^{1/2} \right]}; \quad (\eta > 0) \quad (2.19)$$

$$\gamma = \eta \sinh^{-1} \left(\frac{\left(\frac{p}{n} - \frac{p}{m} \right) \left[\left(1 + \frac{p}{m} \right) \left(1 + \frac{p}{n} \right) - 4 \right]^{1/2}}{2 \left(\frac{p}{m} \frac{p}{n} - 1 \right)} \right) \quad (2.20)$$

$$\lambda = \frac{p \left[\left[\left(1 + \frac{p}{m} \right) \left(1 + \frac{p}{n} \right) - 2 \right]^2 - 4 \right]^{1/2}}{\left(\frac{p}{m} \frac{p}{n} - 1 \right)}; \quad (\lambda > 0) \quad (2.21)$$

$$\varepsilon = \frac{x_2 + x_3}{2} - \frac{\lambda}{2} + \frac{p \left(\frac{p}{n} - \frac{p}{m} \right)}{2 \left(\frac{p}{m} + \frac{p}{n} - 1 \right)} \quad (2.22)$$

- **Distribuição de Johnson S_L**

$$\eta = \frac{2z}{\ln \left(\frac{m}{p} \right)} \quad (2.23)$$

$$\gamma = \eta \ln \left(\frac{\frac{m}{p} - 1}{p \left(\frac{m}{p} \right)^{1/2}} \right) \quad (2.24)$$

$$\varepsilon = \frac{x_2 + x_3}{2} - \frac{p}{2} \left(\frac{\frac{m}{p} + 1}{\frac{m}{p} - 1} \right) \quad (2.25)$$

- **Distribuições de Johnson S_U**

$$\eta = \frac{2z}{\cosh^{-1}\left(\frac{1}{2}\left(\frac{m}{p} + \frac{n}{p}\right)\right)}; \quad (\eta > 0) \quad (2.26)$$

$$\gamma = \eta \sinh^{-1}\left(\frac{\frac{n}{p} - \frac{m}{p}}{2\left(\frac{m}{p} \frac{n}{p} - 1\right)^{1/2}}\right) \quad (2.27)$$

$$\lambda = \frac{2p\left(\frac{m}{p} \frac{n}{p} - 1\right)^{1/2}}{\left(\frac{m}{p} + \frac{n}{p} - 2\right)\left(\frac{m}{p} + \frac{n}{p} + 2\right)^{1/2}}; \quad (\lambda > 0) \quad (2.28)$$

$$\varepsilon = \frac{x_2 + x_3}{2} + \frac{p\left(\frac{n}{p} - \frac{m}{p}\right)}{2\left(\frac{m}{p} + \frac{n}{p} - 2\right)} \quad (2.29)$$

2.4.5 Assimetria e Método da Variância Ponderada

Em 1995, Bai e Choi propõem o método *WV* como alternativa às cartas tradicionais de Shewhart, para o controlo da distribuição das características da qualidade com dados assimétricos e não normalmente distribuídos (Bai & Choi, 1995; Pereira & Requeijo, 2012).

O método *WV* parte do pressuposto de que a média de uma distribuição assimétrica pode ser dividida em dois segmentos, criando a partir de cada um deles uma nova distribuição simétrica. As duas novas distribuições possuem a mesma média, mas variâncias diferentes. O método *WV* utiliza as duas novas distribuições obtidas para o cálculo dos limites de controlo, ou seja, com uma das distribuições determina-se o limite superior e com a outra o limite inferior. Os novos limites de controlo calculados encontram-se a diferentes distâncias em relação à linha central e possuem valores diferentes dos limites das cartas de Shewhart, pelo facto de a distribuição original ser assimétrica. Este método utiliza o desvio padrão tal como as cartas de Shewhart para o cálculo dos limites de controlo e um nível de significância de 0,27% (Bai & Choi, 1995; Pereira & Requeijo, 2012).

Considerando uma variável aleatória X com uma distribuição assimétrica, a probabilidade de ocorrerem valores menores ou iguais à média ($P_x = P(X \leq \mu_x)$), é calculado a partir da equação seguinte, em que $\delta(x) = 1$ para $(\bar{X} - X_{ij}) \geq 0$ ou $\delta(x) = 0$ para $(\bar{X} - X_{ij}) < 0$:

$$\hat{P}_x = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \delta(\bar{X} - X_{ij})}{n \times k}, \quad (2.30)$$

em que \bar{X} é a média das k amostras, X_{ij} é a observação j da amostra i , k é o número de amostras e por fim n que representa a dimensão das amostras (Bai & Choi, 1995; Pereira & Requeijo, 2012).

Caso $P_x \leq 0,5$ os valores dos limites de controlo do método WV são iguais ao método de Shewhart, seguindo os dados uma distribuição simétrica. Pelo contrário, se $P_x < 0,5$ os limites de controlo vão ter diferentes distâncias relativamente à linha central (Bai & Choi, 1995).

Recorrendo a este método alternativo é possível estimar os parâmetros do processo para a carta da média $\hat{\mu}_x$ e $\hat{\sigma}_x (WV\bar{X})$ e da amplitude $\hat{\mu}_R$ e $\hat{\sigma}_R (WVR)$, através das equações (Bai & Choi, 1995; Pereira & Requeijo, 2012).

$$\hat{\mu}_x = \bar{X} \quad (2.31)$$

$$\hat{\mu}_R = \bar{R} \quad (2.32)$$

$$\hat{\sigma}_x = \frac{\bar{R}}{d'_2} \quad (2.33)$$

$$\hat{\sigma}_R = d'_3 \left(\frac{\bar{R}}{d'_2} \right) \quad (2.34)$$

As constantes d'_2 e d'_3 para uma distribuição assimétrica, correspondem respetivamente às constantes d_2 e d_3 (consultar as equações apresentadas nos **Quadros 2 e**

3) no caso de uma distribuição em que os dados seguem distribuição normal (Bai & Choi, 1995).

O **Quadro 5** apresenta as equações necessárias à obtenção dos limites de controlo da carta da média ($WV\bar{X}$) e da amplitude (WVR) segundo o método WV (Bai & Choi, 1995).

Quadro 5: Limites de controlo para as cartas $WV\bar{X}$ e WVR .

Carta	LIC	LC	LSC
Carta $WV\bar{X}$	$\bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{R}}{d'_2\sqrt{n}}\sqrt{2(1-\hat{P}_x)} = \bar{\bar{X}} - W_L\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{R}}{d'_2\sqrt{n}}\sqrt{2\hat{P}_x} = \bar{\bar{X}} + W_U\bar{R}$
Carta WVR	$\bar{R}\left(1 - 3\frac{d'_3}{d'_2}\sqrt{2(1-\hat{P}_x)}\right)^+ = V_L\bar{R}$	\bar{R}	$\bar{R}\left(1 + 3\frac{d'_3}{d'_2}\sqrt{2\hat{P}_x}\right) = V_U\bar{R}$

Adaptado de Bai & Choi (1995).

De acordo com os valores de P_x obtidos os valores para W_L, W_U, V_L e V_U podem ser determinados através das quatro tabelas que se encontram no Anexo II da presente dissertação.

Este método apresenta diversas vantagens que devem ser tidas em consideração aquando da sua aplicação, das quais se destacam as seguintes (Bai & Choi, 1995; Pereira & Requeijo, 2012):

- Não é necessário conhecer o tipo de distribuição a que pertencem os dados;
- O método WV e as cartas de Shewhart são comparáveis quando a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica;
- O desempenho do método WV é superior ao de Shewhart, quando a distribuição dos dados é assimétrica e conseqüentemente não normalmente distribuída;
- Normalmente as cartas $WV\bar{X}$ e WVR apresentam, respetivamente, riscos do tipo I menores que 0,010 e 0,015. Quando o coeficiente de assimetria aumenta possuem um melhor desempenho do que as cartas tradicionais de Shewhart;
- Na carta da amplitude é mais acentuada a diferença do valor do risco do tipo I entre as cartas WV e as cartas tradicionais de Shewhart.

2.5 Capacidade do processo

A capacidade do processo é um conceito importante ao nível da planificação da qualidade de um processo, verificando a sua aptidão ao longo do tempo em se produzir de

acordo com as especificações técnicas e a capacidade de continuar dentro das tolerâncias estabelecidas (Juran & Godfrey, 1999; Pereira & Requeijo, 2012). Este conceito reflete a variação do processo devido a causas comuns de variação, passando por uma análise que consiste na comparação da distribuição de uma determinada característica do produto relativamente às especificações estabelecidas (Pereira & Requeijo, 2012).

A análise da capacidade do processo é uma técnica fundamental a qualquer programa de melhoria da qualidade, que permite (Montgomery, 2009):

- Prever a capacidade do processo em produzir de acordo com as especificações técnicas estabelecidas;
- Auxiliar os responsáveis pela conceção e desenvolvimento de novos produtos na escolha de um processo mais adequado ao pretendido;
- Auxiliar na escolha de um intervalo que se adeque entre as amostras na monitorização de um processo;
- Especificar os requisitos necessários no desempenho de novos equipamentos;
- Selecionar os fornecedores e outros aspetos relativamente à gestão da cadeia de abastecimento;
- Delinear a sequência de processos de produção aquando da existência de efeitos de interação de processos nas tolerâncias;
- Redução da variabilidade do processo.

Assim, a análise da capacidade do processo pode ser aplicada nos mais diversos segmentos do ciclo do produto, desde a conceção do produto e do processo, passando pela gestão da cadeia de abastecimento, acabando no planeamento da produção ou manufatura (Montgomery, 2009).

Na análise da capacidade do processo as três técnicas mais utilizadas são o histograma ou gráficos de probabilidade, cartas de controlo e o delineamento experimental (Montgomery, 2009). Na presente dissertação a capacidade do processo será apenas analisada com recurso às cartas de controlo estatístico, nomeadamente às cartas de observações individuais e das amplitudes móveis.

3 CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA

No presente capítulo é apresentada a empresa, Mendes Gonçalves, S.A., onde decorreu o estágio que deu origem a esta dissertação. Sendo o principal objetivo proposto a determinação dos intervalos dos parâmetros de qualidade de alguns dos produtos produzidos pela empresa, foi necessária a aquisição de diversos conhecimentos ao nível da sua organização, estrutura e processos produtivos de apoio à qualidade.

3.1 A empresa Mendes Gonçalves, S.A.

A Mendes Gonçalves, S.A., sediada na Golegã, é uma empresa fundada em 1982 que tem como principal atividade a produção de vinagres, molhos e temperos de sublimidade (Mendes Gonçalves, 2016 a).



Figura 4: Empresa Mendes Gonçalves, S.A. (Retirado de Mendes Gonçalves, 2016 a).

Inicialmente apenas se dedicava à produção e comercialização de vinagre de fruta, estando direcionada para as estruturas comerciais então dominantes. A empresa expandiu o seu negócio para os vinagres de vinho e de sidra, ganhando forte posição em Portugal no mercado dos vinagres, setor onde é líder (Mendes Gonçalves, 2016 a).

A aposta em marcas próprias (Peninsular, Creative, Dacepa, Dofruto, Venda da Galega e recentemente Paladin), permitiu a sua entrada no mercado externo.

No entanto, devido à forte concorrência sentiu a necessidade de investir na modernização da empresa, e entrar no mercado dos molhos e temperos alimentares (Ribeiro, 2014; Mendes Gonçalves, 2016 a).

A empresa tem como principal objetivo o desenvolvimento de produtos inovadores e distintos da sua concorrência, competindo pela entrada em novos mercados. Para tal, concentra-se na diversidade de gostos e na satisfação dos seus clientes antecipando as suas necessidades, apostando na melhoria contínua da qualidade, na avaliação das matérias-primas e na formação dos seus colaboradores (Mendes Gonçalves, 2016 a).

3.2 Estrutura organizacional da Mendes Gonçalves, S.A.

A Mendes Gonçalves, S.A., caracteriza-se por ser uma empresa familiar, sendo o seu diretor geral um dos fundadores. A estrutura organizacional da empresa é composta por um conselho de administração responsável pela gestão e de todas as decisões fulcrais ao bom

desempenho da empresa. Para além da administração, a empresa encontra-se dividida em dez departamentos ligados entre si por relações hierárquicas, em que cada diretor é responsável pelas suas funções e responsabilidades, estando distribuídos 230 colaboradores (Mendes Gonçalves, 2016 a).

Quadro 6: Organização dos vários departamentos da empresa.

Administração
Departamento de Compras e Aprovisionamento
Departamento Comercial
Departamento Financeiro
Departamento de Marketing
Departamento de Produção
Departamento de Recursos Humanos
Departamento de Novos Projetos e Manutenção
Departamento de Qualidade
Departamento de Sistemas e Técnicas de Informação
Departamento de Inovação

Adaptado de Mendes Gonçalves (2016 a).

3.3 Processo produtivo

Atualmente a empresa Mendes Gonçalves, S.A. abrange uma vasta gama de produtos fabricados e comercializados, desde vinagres, molhos a quente e a frio, condimentos e temperos, tanto para o mercado nacional como internacional, com o intuito de se distinguir cada vez mais no mercado agroalimentar (Mendes Gonçalves, 2016 a). Deste modo, tem como principal preocupação garantir a qualidade dos seus produtos desde a receção das matérias-primas, passando pelo processo, enchimento e por fim o embalamento e expedição.

3.3.1 Fluxograma de produção de molhos e controlo de qualidade

Na presente dissertação é impossível abordar o processo produtivo de toda a vasta gama de produtos concebidos pela empresa. Assim, apenas é abordado de forma geral os molhos a quente e a frio fabricados pela empresa. A **Figura 5** exemplifica de forma sucinta o fluxograma do processo de produção do grupo anteriormente mencionado, desde a receção das matérias-primas até à expedição do produto acabado. Posteriormente procede-se à descrição das etapas.

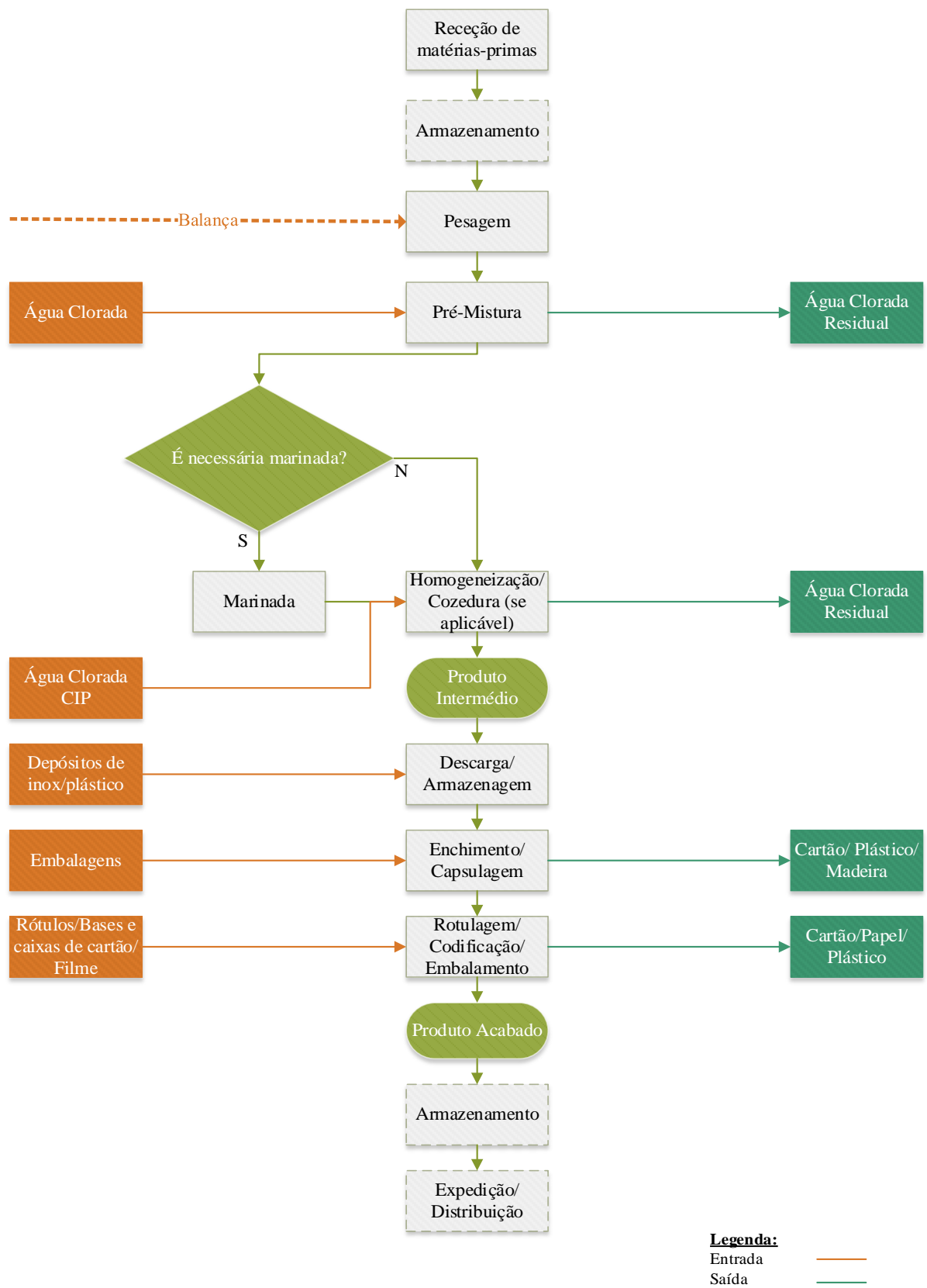


Figura 5: Fluxograma de fabrico dos molhos a frio e a quente. (Adaptado de Mendes Gonçalves, 2016 b).

- **Matéria-prima**

A preocupação com a qualidade dos produtos inicia-se com a receção das matérias-primas que é realizada pela rececionista que efetua o registo informático no programa SAP, dos requisitos técnicos específicos. A técnica de qualidade é informada da chegada da matéria-prima, que deve efetuar a recolha com o maior rigor possível a fim de evitar qualquer tipo de dano ao nível da matéria-prima rececionada. É fundamental a realização de um controlo de qualidade da matéria-prima, que deve incidir ao nível de determinações físicas (textura, cor, odor, homogeneidade do lote, calibre e aspeto geral) e por fim aspetos relacionados com a segurança alimentar. As matérias-primas que se encontram de acordo com as conformidades estabelecidas, são recolhidas amostras de um lote para análises físico-químicas no laboratório de qualidade, e armazenadas num local pré-definido com as características apropriadas à preservação do seu estado de conformidade, até à data da sua utilização. Caso as matérias-primas se encontrem em estado não conforme é feita uma reclamação ao cliente sendo devolvida ao mesmo.

- **Produto intermédio**

Na sala de pesagens, os operadores realizam a pesagem das matérias-primas que vão ser utilizadas nas várias receitas que são produzidas de acordo com as necessidades do plano de produção. Os ingredientes previamente pesados são recolhidos pelos operadores que vão preparar a receita, são colocados nas máquinas de produção, onde são misturados e homogeneizados de acordo com o tempo estipulado na receita. Existe um monitor em cada máquina de produção que permite acompanhar o funcionamento da máquina e o tempo estipulado para a receita.

Posteriormente, o operador retira uma amostra representativa da quantidade total produzida e entrega no laboratório de qualidade onde são analisados os principais parâmetros físico-químicos estabelecidos para o produto de forma a garantir o cumprimento das especificações técnicas. Os principais parâmetros analisados são o pH, a viscosidade, o teor de sólidos solúveis (°brix), a consistência e a cor. Os valores dos parâmetros de qualidade do produto são introduzidos no sistema informático da empresa SAP, e se o produto estiver dentro das especificações realiza-se a determinação da acidez e dos cloretos com o intuito de garantir o cumprimento das especificações técnicas e então o operador pode descarregar a produção para um depósito de inox ou de plástico consoante o produto, caso contrário é necessário introduzir correções à receita e repetir de novo os passos anteriores. Todos os produtos detêm intervalos estabelecidos para cada parâmetro específico, que, aquando da análise, têm de ser verificados e registados no software SAP da empresa. Nesta etapa os

valores dos parâmetros de qualidade têm de ser introduzidos manualmente pela técnica de qualidade no separador referente à descarga que mostra todas as produções e parâmetros que vão sendo submetidas em tempo real pelos operadores, efetuadas no mesmo dia, sempre no produto correspondente e de acordo com o seu número de produção. Para além disso, sempre que se peça a recolha de mais do que uma amostra são introduzidos novos registos acompanhados das observações consideradas relevantes pela técnica de qualidade responsável pela análise, para garantir que cada parâmetro se encontra dentro dos intervalos estabelecidos antes de libertar o produto e, acima de tudo, para servir de base de dados num vasto histórico, caso existam problemas na receita.

Nesta fase, é de extrema importância a implementação do controlo estatístico ao nível da definição dos limites dos intervalos de qualidade, pois caso os parâmetros específicos para o produto analisado estejam de acordo com as especificações, não são necessárias correções na receita, que se traduzem sempre num maior tempo despendido e num maior consumo de ingredientes e conseqüentemente maior gasto monetário para a empresa.

- **Produto acabado**

O depósito para onde é descarregada a produção é engatado a uma linha de enchimento específica e entra na linha de produção da empresa. Existem vinte linhas de enchimento de aço inoxidável e/ou PVC específicas para determinados grupos de produtos, com mais de dez tipos de embalagens diferentes, com capacidade desde frascos de 75mL, como baldes de 5 ou 10L, passando pelas cuvetes de 25mL ou saquetas de 5mL (Mendes Gonçalves, 2016 a). Considera-se produto acabado quando este não é sujeito a mais nenhum processamento ou transformação posterior por parte da empresa e entra diretamente na linha de enchimento para ser rotulado e embalado (NP EN ISO 22000, 2005).

Todas as linhas de enchimento possuem um sistema de balanças que permitem enviar para o laboratório de qualidade as pesagens do dia referentes aos produtos que foram enchidos na respetiva linha, permitindo às técnicas realizar o controlo da quantidade de produto em todos os lotes, assegurando o cumprimento dos requisitos legais e as especificações dos clientes. O laboratório de qualidade estipulou o número de amostras a serem retiradas nas diversas linhas para análise e armazenamento na sala de amostras, referentes às produções realizadas no dia das diferentes receitas. Assim, as técnicas de qualidade de hora em hora e de acordo com o estipulado recolhem as amostras de cada linha de enchimento e verificam se as embalagens e paletes se encontram de acordo com o estabelecido na ficha de produto de cada uma das linhas. Como são produtos recolhidos à linha, o laboratório também definiu os parâmetros de qualidade a serem analisados,

específicos para cada um dos produtos. Após a análise dos parâmetros, os valores são introduzidos manualmente pela técnica de qualidade no software da empresa, e identificados por linha, produto e marca a que corresponde, e respetiva data de produção. Nesta fase também é aplicado um controlo estatístico e definição dos limites dos intervalos de qualidade dos produtos acabados, para avaliar se ocorreram alterações significativas entre a descarga e a linha. Estas alterações podem implicar a retirada de produtos de mercado ou/e retenção de stocks em armazéns, conseqüentemente refletindo-se em maiores prejuízos para a empresa.

Por fim, quando o produto se encontra devidamente rotulado, codificado e embalado, as paletes com o produto seguem para o armazém (centro logístico), prontos para serem expedidos e transportados até ao seu destinatário final.

3.4 Qualidade na Mendes Gonçalves, S.A.

O departamento de qualidade tem um papel fundamental para o sucesso da empresa num mercado cada vez mais competitivo. Com o intuito de assegurar a qualidade de todos os produtos produzidos, a empresa possui no laboratório de qualidade dois locais distintos onde é efetuado um controlo dos parâmetros mais relevantes através de análises físico-químicas e microbiológicas, para que se possa garantir um padrão de qualidade constante, desde as matérias-primas até ao produto final (Mendes Gonçalves, 2016 a).

Na produção dos vários vinagres, molhos, condimentos e temperos é necessário o controlo de determinados parâmetros específicos desde a produção até ao produto final, de forma a assegurar a conformidade e qualidade dos produtos até ao fim da validade estipulada. As principais análises a serem realizadas a determinados produtos são por exemplo, o pH, temperatura, teor de sólidos solúveis (°brix), viscosidade, acidez, cloretos, consistência, cor (L*, a*, b*), densidade, turbidez, álcool residual e carga microbiológica (Mendes Gonçalves, 2016 a).

A empresa, em 2001, obteve o reconhecimento externo de que o seu Sistema de Gestão da Qualidade cumpria com os requisitos exigidos pela norma internacional ISO 9000, procedendo mais tarde à sua transição para a ISO 9001:2000. Em 2009 tornou-se a primeira empresa em Portugal do ramo dos vinagres, molhos e temperos, certificada pela norma ISO 22000, o que se traduziu numa maior competitividade e garantia da melhoria da qualidade dos seus produtos (Mendes Gonçalves, 2016 a).

Na sequência de uma melhoria contínua da qualidade e credibilidade dos seus produtos, a empresa obteve a certificação de produto de acordo com a Norma Europeia 13188:2008 para dois dos seus produtos (Vinagre de Vinho 6% Peninsular/Dacepa e Vinagre de Sidra 5% Peninsular) (Ribeiro, 2014; Mendes Gonçalves, 2016 a).

A empresa detém mais duas certificações, o certificado Kosher e certificado Halal, estando autorizada a exportar vinagres e condimentos de acordo com a religião islâmica e as leis judaicas. (Ribeiro, 2014; Mendes Gonçalves, 2016 a).



Figura 6: Produtos da empresa Mendes Gonçalves, S.A. (Adaptado de Mendes Gonçalves, 2017).

4 PARTE EXPERIMENTAL

O presente capítulo apresenta a aplicação do estudo prático desenvolvido na empresa Mendes Gonçalves, S.A., com recurso aos conceitos e metodologias abordadas no capítulo 2.

Foram analisados 72 produtos e estabelecidos novos limites de controlo em cada parâmetro de qualidade específico. Os 72 produtos, incluem 9 mostardas, 9 maioneses, 6 ketchups, 44 molhos e 4 piri-piris. Neste capítulo apenas foi escolhido um único produto e um parâmetro de qualidade específico, descrevendo o processo de obtenção do novo intervalo de controlo e a aplicação das principais metodologias. No Apêndice I encontram-se os intervalos estabelecidos para os restantes parâmetros de qualidade do produto selecionado para apresentação neste capítulo.

4.1 Metodologia de aplicação

O estudo prático iniciou-se com a recolha de dados de histórico referentes aos parâmetros de qualidade específicos para os produtos em duas fases distintas de produção, produto intermédio (descarga) e produto acabado (linha), tendo sido escolhidas as características com maior relevância para cada produto. Os produtos foram divididos por grupos de acordo com as suas características, tendo sido aplicada a abordagem tradicional do CEP, através da carta de observações individuais e das amplitudes móveis.

Alguns parâmetros analisados são o pH, viscosidade, teor de sólidos solúveis, consistência, cor, acidez, cloretos e densidade. As etapas mais relevantes para cumprir os objetivos pretendidos foram:

- i. Seleção de produtos, recolha e organização dos resultados analíticos e dos intervalos em vigor;
- ii. Caracterização do parâmetro usando estatística descritiva;
- iii. Construção de cartas de controlo 3σ de observações individuais e das amplitudes móveis (Carta X e MR);
- iv. Análise das cartas, identificação de valores anómalos e das suas causas, obtenção de novos limites de controlo;
- v. Verificação da normalidade dos dados com recurso ao teste Kolmogorov-Smirnov (caso não sigam uma distribuição normal proceder à transformação dos dados através do SDJ);

- vi. Verificar novamente a normalidade dos dados (caso não se verifique, avaliação de alternativas de transformação dos dados através do método adaptado *WV*);
- vii. Obtenção dos limites das populações pelo método adaptado *WV*;
- viii. Comparação dos intervalos obtidos com os intervalos em vigor na empresa;
- ix. Propostas de atualização.

Devido às restrições existentes não vai ser revelado o nome do produto apenas o grupo a que pertence e os seus parâmetros de qualidade, de modo a não comprometer a empresa bem como os seus clientes.

4.2 Recolha dos dados

O departamento de investigação, desenvolvimento e inovação (IDI) da empresa Mendes Gonçalves, S.A., tem a seu cargo o desenvolvimento de novos produtos de acordo com as especificações dos seus clientes, estabelecendo intervalos para cada um dos parâmetros de qualidade específicos, discriminados numa ficha técnica de produto que é fornecida ao laboratório de qualidade.

O laboratório de qualidade dispõe de um ficheiro com os grupos e os produtos chave que o constituem, que auxilia na escolha dos grupos e produtos a serem tratados para este trabalho. Os dados relativos aos parâmetros de qualidade dos produtos foram recolhidos em dois softwares, o antigo e o atual, recentemente desenvolvido para se adequar às necessidades atuais da empresa. Como o novo software entrou em vigor há relativamente pouco tempo ainda possui poucos dados em determinados produtos, pelo que foi necessário extrair dados de ambos os softwares para o trabalho a realizar na presente dissertação. Após a extração dos dados e compilação dos parâmetros de qualidade tanto na fase de obtenção do produto intermédio, como à linha aqui designado por produto acabado, estes foram tratados com o intuito de verificar a existência de valores anómalos para proceder à sua eliminação.

O estudo culminou com 72 produtos analisados, mais concretamente, 9 mostardas, 9 maioneses, 6 ketchups, 44 molhos e 4 piri-piris, em que foram estabelecidos novos intervalos para cada um dos parâmetros específicos tanto à descarga como à linha, como se pode verificar no **Quadro 7**.

Quadro 7: Produtos analisados divididos por grupos chave de acordo com as suas características.

		Parâmetros																	
		Descarga									Linha								
Grupo	Nº.	A	B	C	D	E	F	G			A	a	B	b	C	c	D	d	H
								L*	a*	b*									
Mostarda	9	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Maionese	9	X	X			X	X	X	X	X		X						X	
Ketchup	6	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		
Molhos	44	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	
Piripíri	4	X	X	X		X	X	X	X	X		X		X				X	
Total	72																		

Legenda: A- pH; a- pH 20°C; B- Viscosidade; b- Viscosidade 20°C; C- Teor de sólidos solúveis; c- Teor de sólidos solúveis 20°C; D- Consistência; d- Consistência 20°C; E- Acidez; F- Cloretos; G- Cor CIELAB (L*, a*, b*); H- Densidade 20°C.

4.3 Análise e discussão dos resultados

4.3.1 Construção e análise das cartas de controlo

No estudo prático foram determinados novos intervalos relativos aos parâmetros de qualidade específicos a 72 produtos da empresa Mendes Gonçalves, S.A. Devido à quantidade de produtos analisados, não se justifica apresentar a análise de todos os parâmetros na presente dissertação. Como tal, selecionou-se apenas um produto designado por molho A, e selecionou-se apenas um parâmetro de qualidade, a viscosidade, com 1167 observações. A metodologia adotada para este parâmetro escolhido é igual aos restantes parâmetros de qualidade do molho A, que podem ser consultados no Apêndice I, representativo do que foi feito para os restantes 71 produtos analisados ao longo deste estudo.

Recolhidas e tratadas as observações do parâmetro de qualidade selecionado e à correta implementação das cartas de controlo, procedeu-se à construção de uma carta elucidativa do intervalo estabelecido na empresa e à construção das cartas de controlo \bar{X} e MR para o novo intervalo obtido. Optou-se por construir este tipo de cartas de controlo tal, como descrito no capítulo 2, pois é o mais proficiente em relação às demais quando a amostra é formada por uma única observação.

O **Quadro 8 e 9** expõem a informação relativa ao intervalo implementado na empresa relativamente à viscosidade do molho A.

Quadro 8: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Viscosidade (cP) – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Descarga

Total de Observações: 1167

Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
15000	10000	25000	87%	0%

Quadro 9: Estatísticas descritivas da viscosidade à descarga.

Viscosidade	Todas as observações
Média	13179
Desvio-padrão	2030
Coefficiente de assimetria	-0,660
Mínimo	1400
Quartil 1	12200
Mediana	13350
Quartil 3	14425
Máximo	25200

A viscosidade apresenta um valor médio de 13179, uma amplitude de variação bastante elevada com um valor mínimo de 1400 e um máximo de 25200 e um coeficiente de assimetria negativo.

A **Figura 7** apresenta uma carta com as observações do parâmetro viscosidade relativamente ao intervalo em uso pelo laboratório de qualidade. Para melhor perceção da distribuição dos dados representados na **Figura 7**, criou-se um histograma (**Figura 8**) com a frequência com que se distribuem as mesmas observações.

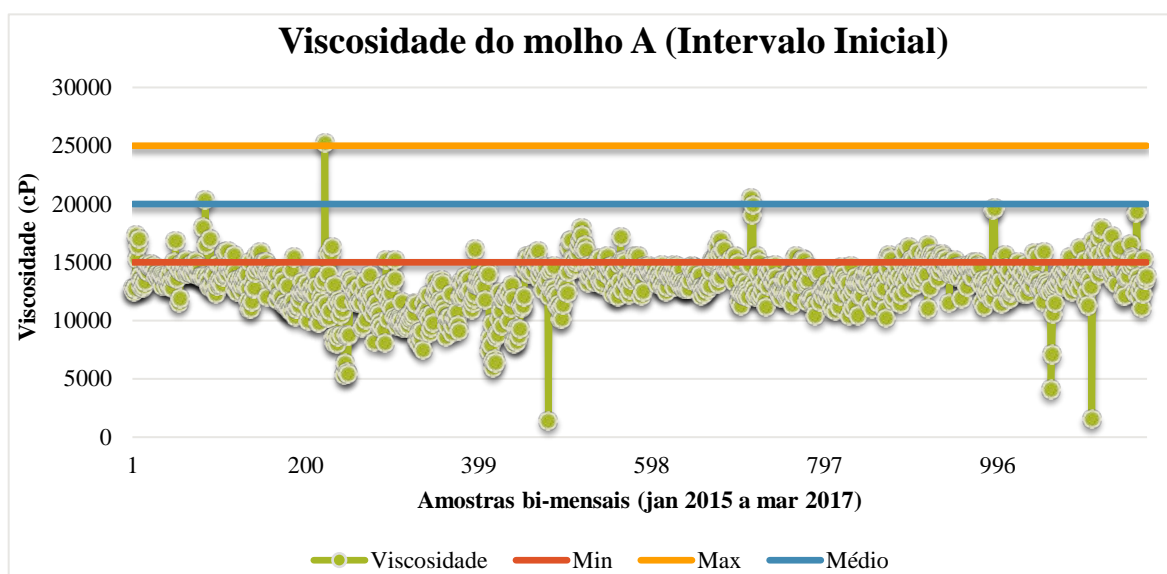


Figura 7: Intervalo referente ao parâmetro viscosidade do molho A estabelecido na empresa.

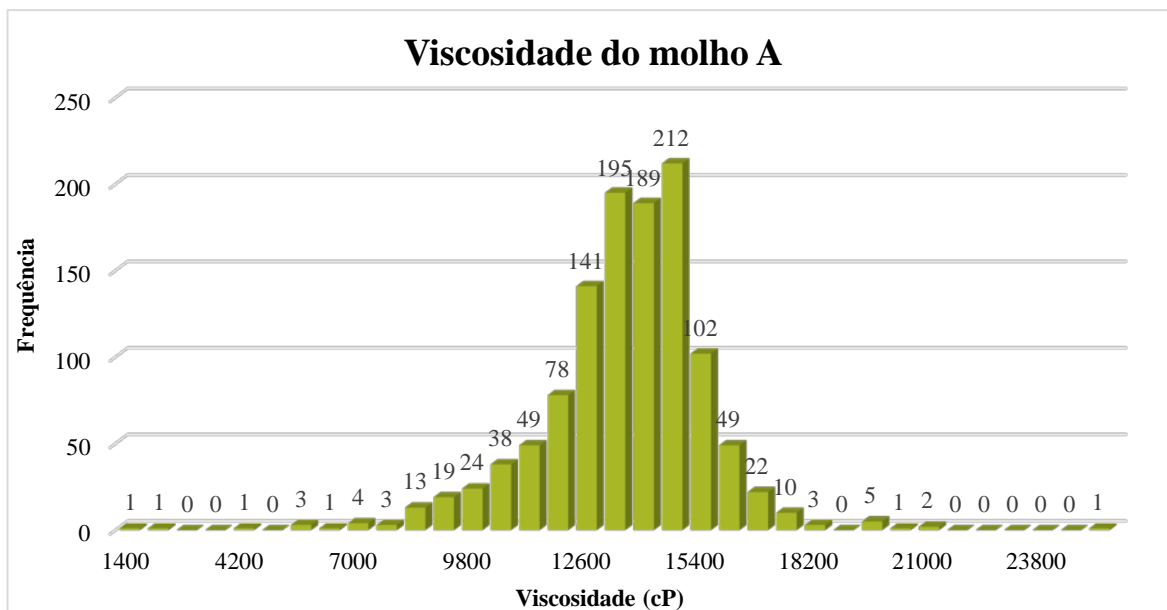


Figura 8: Distribuição das observações por frequências da **Figura 7**.

Na **Figura 7** verifica-se que o parâmetro viscosidade possui uma grande variabilidade ao longo do tempo, e que a maioria das observações se encontram abaixo do limite inferior estabelecido pelo laboratório de qualidade. Das 1167 observações, 1013 encontram-se fora dos limites estabelecidos, mais concretamente 1012 observações abaixo do limite inferior e 1 observação acima do limite superior, concluindo-se que o intervalo estabelecido para o parâmetro viscosidade encontra-se desajustado relativamente à distribuição que as observações possuem, sendo necessário o seu ajustamento.

Após o tratamento dos dados, procedeu-se ao cálculo e implementação das cartas de controlo \bar{X} e MR com o intuito de se obter um novo intervalo para o parâmetro em estudo. Tal como mencionado no capítulo 2, apenas se utilizaram duas observações para o efeito, logo recorre-se aos valores de d_2 , D_3 e D_4 , para $n = 2$, na tabela I.1 do Anexo I. Após a obtenção dos valores para as três constantes, obteve-se os limites de controlo para as cartas \bar{X} e MR (**Quadro 10**).

Quadro 10: Determinação do novo intervalo obtido para o parâmetro de qualidade em estudo.

Viscosidade (cP) – Molho A					
Período: janeiro de 2015 a março de 2017					
Fase: Descarga					
Total de Observações: 1167					
Média	Novo Intervalo Obtido			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
13179	10233	5893	16126	8%	4%

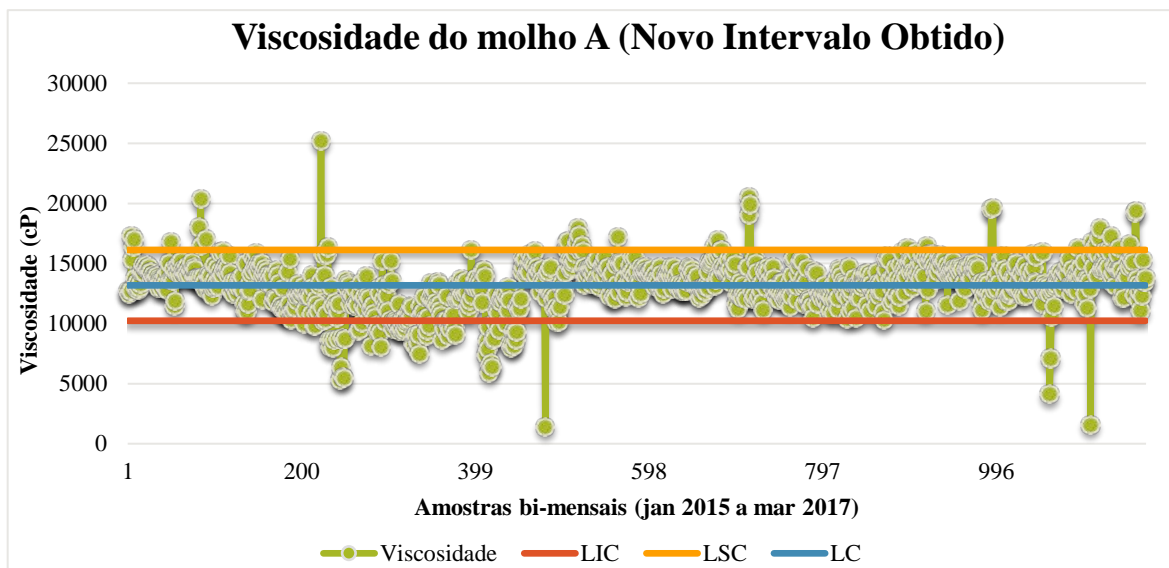


Figura 9: Carta de observações individuais para o novo intervalo obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.

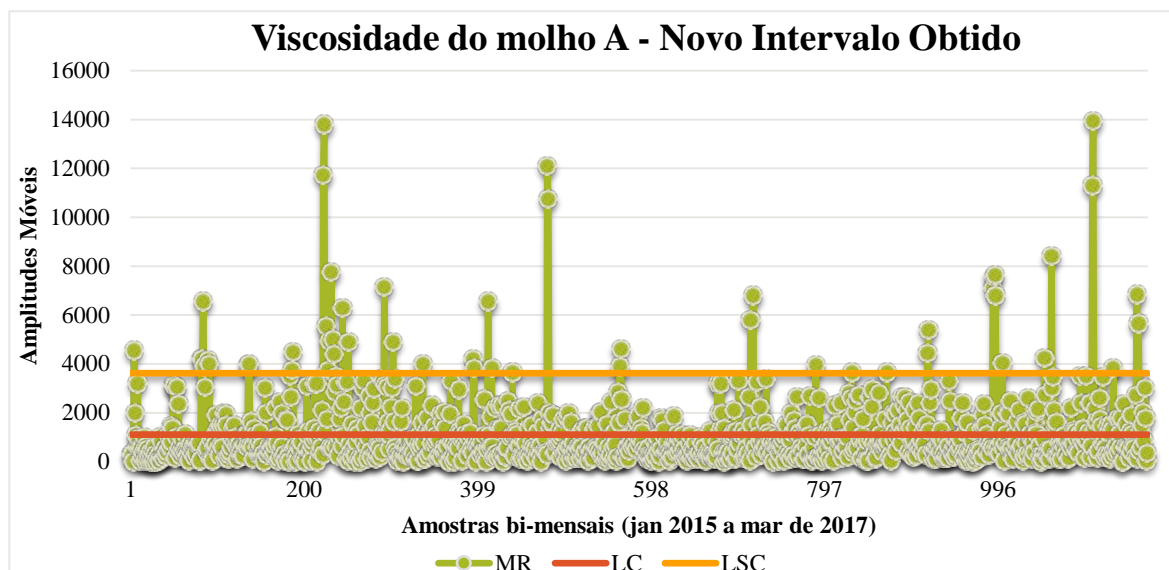


Figura 10: Carta das amplitudes móveis para o novo intervalo obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.

Após a aplicação das cartas de controlo X e MR e determinado o novo intervalo (10233-16126) para o parâmetro de viscosidade, verificou-se (**Figuras 9 e 10**) que ainda existem observações que transpõem os limites impostos. No total verifica-se que 134 observações ultrapassam o limite inferior e superior de controlo, mais concretamente 44 observações acima do limite superior de controlo e 90 observações abaixo do limite inferior de controlo. Nesta fase, as 134 observações que se encontram fora dos limites de controlo devem ser eliminadas, o que resulta no cálculo e obtenção de novas cartas de controlo X e MR para 1033 observações, apresentadas no **Quadro 11 e 12**.

Quadro 11: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro viscosidade.

Viscosidade (cP) – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Descarga

Total de Observações: 1033

Intervalo após a eliminação					% Amostras	
Carta X		Carta MR			Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
LIC	Amplitude	LSC	LC	LSC		
11032	4715	15747	886	2897	13%	6%

Quadro 12: Estatísticas descritivas da viscosidade após refinação dos limites de controle.

Viscosidade	Após eliminação
Média	13390
Desvio-padrão	1297
Coefficiente de assimetria	-0,268
Mínimo	10250
Quartil 1	12500
Mediana	13450
Quartil 3	14400
Máximo	16100

Se não forem consideradas as observações fora dos limites estabelecidos na Fase 1 para além do intervalo de variação se reduzir o coeficiente de assimetria torna-se menos negativo, indicando uma distribuição menos assimétrica.

A **Figura 11** apresenta uma nova carta com as observações finais do parâmetro viscosidade relativamente ao intervalo final obtido. Para melhor perceção da distribuição dos dados finais representados na **Figura 11**, criou-se novamente um histograma (**Figura 12**) com a frequência com se distribuem as mesmas observações.

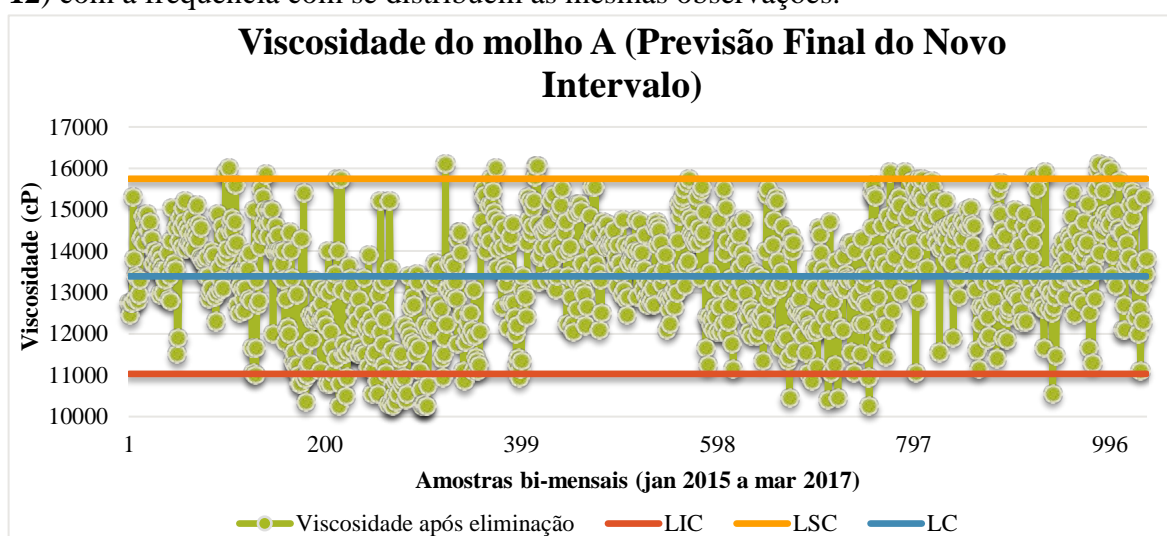


Figura 11: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.

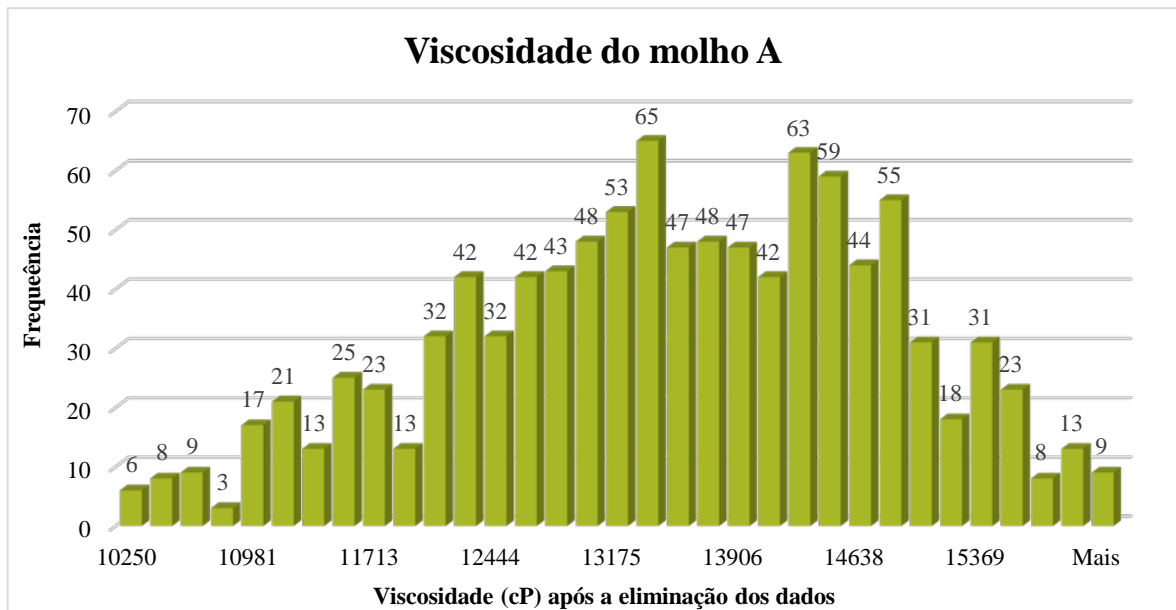


Figura 12: Distribuição das observações por frequências da Figura 11.

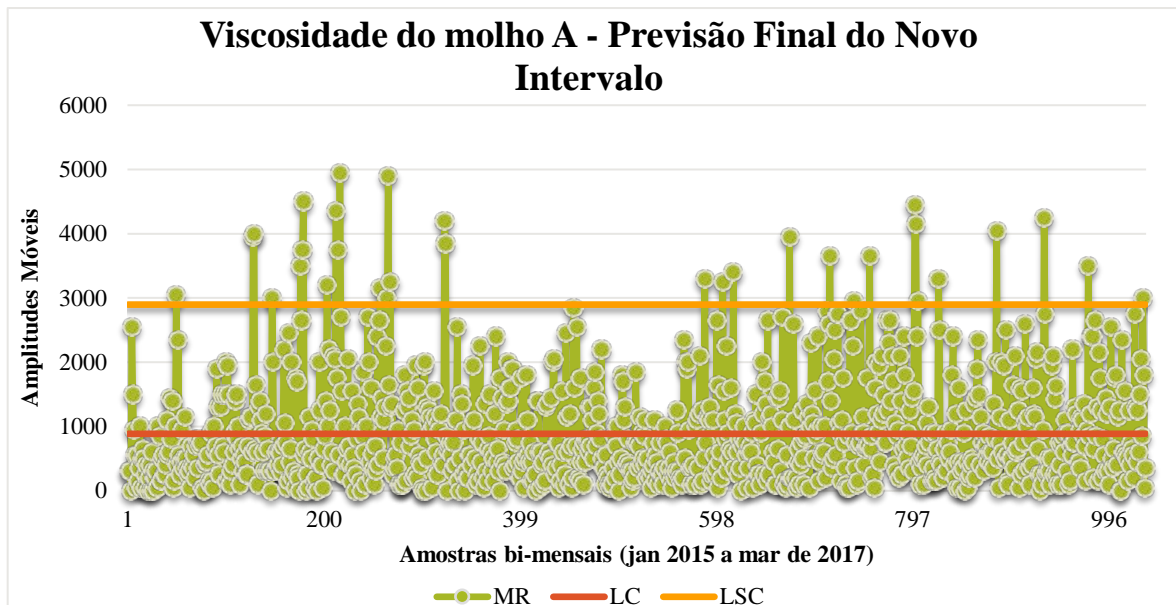


Figura 13: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade do molho A.

Após a obtenção das cartas de controlo estatístico e estabelecidos os intervalos finais, verifica-se (**Figura 11 e 13**) ainda após a eliminação das 134 observações a existência de 69 observações fora dos limites de controlo, mais concretamente 47 observações abaixo do limite inferior de controlo e 22 observações acima do limite superior de controlo. Resultando em 5% das observações abaixo do limite inferior e apenas 2% das observações acima do limite superior de controlo estatístico. No entanto, para melhor perceção de qual é efetivamente o melhor intervalo a aplicar, na obtenção de percentagem de observações que ultrapassam os limites de controlo finais estabelecidos, a contagem é realizada com o

histórico dos valores que ainda não sofreram eliminação. Deste modo, ao obter-se o intervalo final que resulta da eliminação das observações pode-se comparar com o intervalo em vigor na empresa e comparar-se efetivamente como o novo intervalo obtido se comporta com todo o histórico de dados. Sendo assim, 203 observações ultrapassam os limites estabelecidos, mais concretamente 66 observações acima do limite superior de controlo e 137 abaixo do limite inferior de controlo, resultando em 6% das observações acima do limite superior e 13% das observações abaixo do limite inferior de controlo, tal como referido no **Quadro 11**.

Na **Figura 14** é possível observar os dois históricos de observações, ou seja, o histórico inicial que não sofreu qualquer tipo de alteração inicial e o segundo após a eliminação das observações que ultrapassavam os limites de controlo estabelecidos.

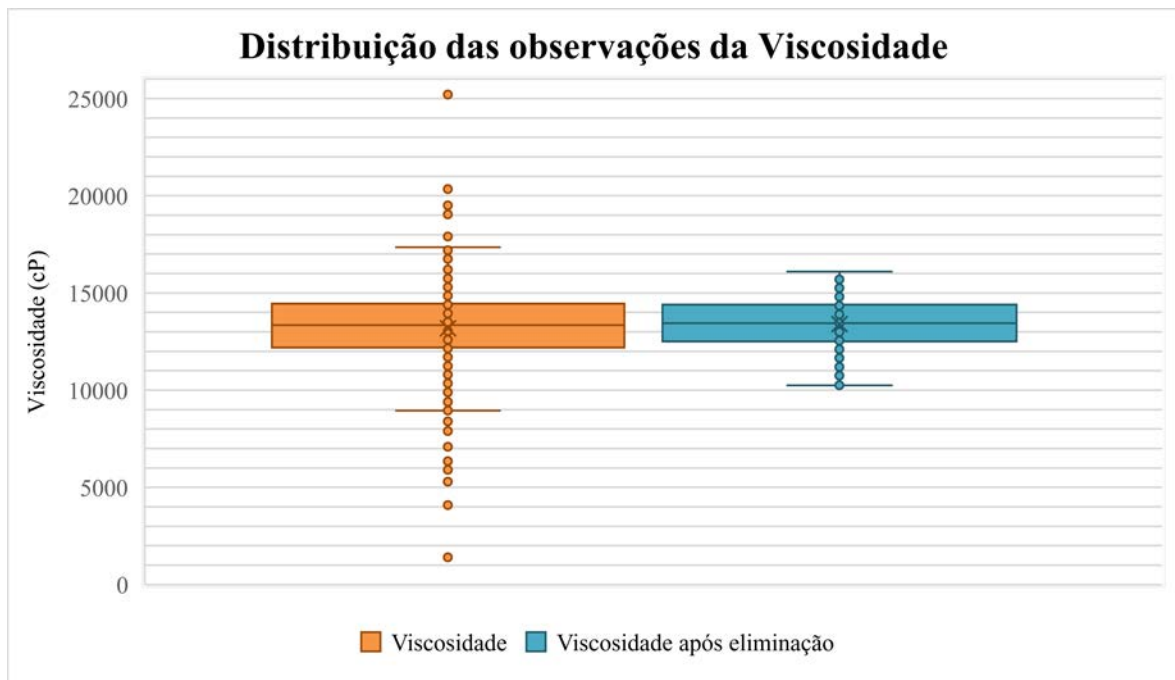


Figura 14: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro viscosidade em estudo no milho A.

Estabelecidas as cartas de observações individuais e das amplitudes móveis para as observações disponíveis, é fundamental verificar se os dados seguem distribuição normal aplicando um teste específico de modo a que as conclusões retiradas das cartas anteriormente estabelecidas e do CEP sejam corretas e válidas.

4.3.2 Verificação da normalidade dos dados

Existem vários métodos para testar a normalidade dos dados, dos quais se destacam o teste do Qui-Quadrado, teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste de Shapiro-Wilk. O presente estudo prático foi realizado através do teste Kolmogorov-Smirnov, enunciado no capítulo 2, que consiste no método mais preciso para averiguar a normalidade de uma população.

O valor $D_{crítico}$, para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), dado que μ e σ são desconhecidos e estimados a partir da amostra. Para $n = 1033$ o valor $D_{crítico}$ é dado por $\frac{0,886}{\sqrt{1033}} = 0,0276$. Como $D = 0,0508 > D_{crítico} = 0,0276$ a hipótese nula é rejeitada. Isto significa que os dados relativos ao molho A não seguem uma distribuição aproximadamente normal, para um nível de significância de 5%.

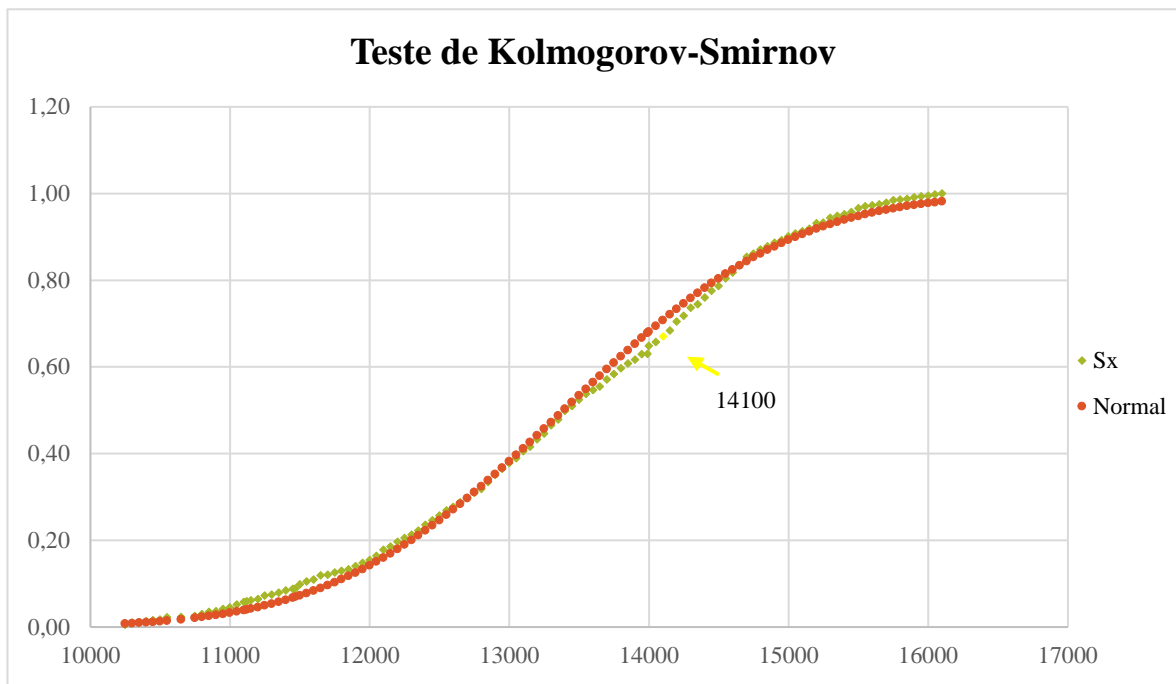


Figura 15: Representação gráfica do teste de Kolmogorov-Smirnov ao conjunto de dados.

Tal como o sucedido no parâmetro viscosidade do produto selecionado, molho A, verificou-se que os restantes parâmetros também não seguem uma distribuição normal. Sendo a normalidade um dos requisitos essenciais na correta aplicação do CEP e, como tal não se verifica é necessário proceder à transformação dos dados através de novas metodologias.

4.3.3 Transformação dos dados

Das várias metodologias mencionadas no capítulo 2, no presente estudo prático a transformação dos dados foi efetuada a partir dos dados das cartas de controlo finais, aplicando a transformação segundo o SDJ, através do método dos percentis.

O primeiro passo fundamental na transformação dos dados é a escolha correta de uma das três famílias de distribuições de Johnson, a que estes pertencem de modo a determinar os seus parâmetros. De seguida, para determinar as áreas da distribuição Normal reduzida de acordo com os percentis estimados, selecionou-se de acordo com vários autores um valor de $s = 3$ para que não seja necessária a realização de interpolações e $z = 0,524$, que corresponde ao percentil de 70% da distribuição Normal reduzida. No **Quadro 13** foi possível determinar as áreas relativas aos percentis considerados, com recurso à equação $i = N \times q_i + 0,5$.

Quadro 13: Determinação dos percentis X_i na distribuição Normal reduzida.

	Φ	i	X_i
$q_1 = \Phi(-sz)$	0,0580	60,39	11117
$q_2 = \Phi(-z)$	0,3001	310,54	12750
$q_3 = \Phi(z)$	0,6999	723,46	14200
$q_4 = \Phi(sz)$	0,9420	973,61	15300

Após a obtenção dos percentis, determina-se o índice QR recorrendo à equação (2.18), necessária para determinar a qual das três famílias das distribuições de Johnson pertencem os dados. O **Quadro 14** apresenta os resultados obtidos respetivamente para m, n, p e o índice QR .

Quadro 14: Determinação do índice QR .

m	n	p	QR
1100	1633	1450	0,8546

Como o índice $QR = 0,8546$ é inferior a 1, conclui-se que os dados pertencem à família de distribuições S_B . Definida a família a que pertence a distribuição dos dados, procede-se com a estimação dos parâmetros do processo $\lambda, \varepsilon, \eta, \gamma$ (**Quadro 15**).

Quadro 15: Parâmetros estimados para o cálculo das equações da distribuição de Johnson S_B .

λ	ε	η	γ
10930,5615	7750,9248	1,7350	-1,2379

Estimados os parâmetros e verificada a condição de transformação para os dados da família S_B , transformam-se os dados individuais. De seguida, testa-se de novo a normalidade da distribuição, mas para os dados transformados com recurso ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Verifica-se que $D = 1 > D_{critico} = 0,0276$, o que significa uma vez mais que os dados do molho A não seguem distribuição normal, para um nível de significância de 5%.

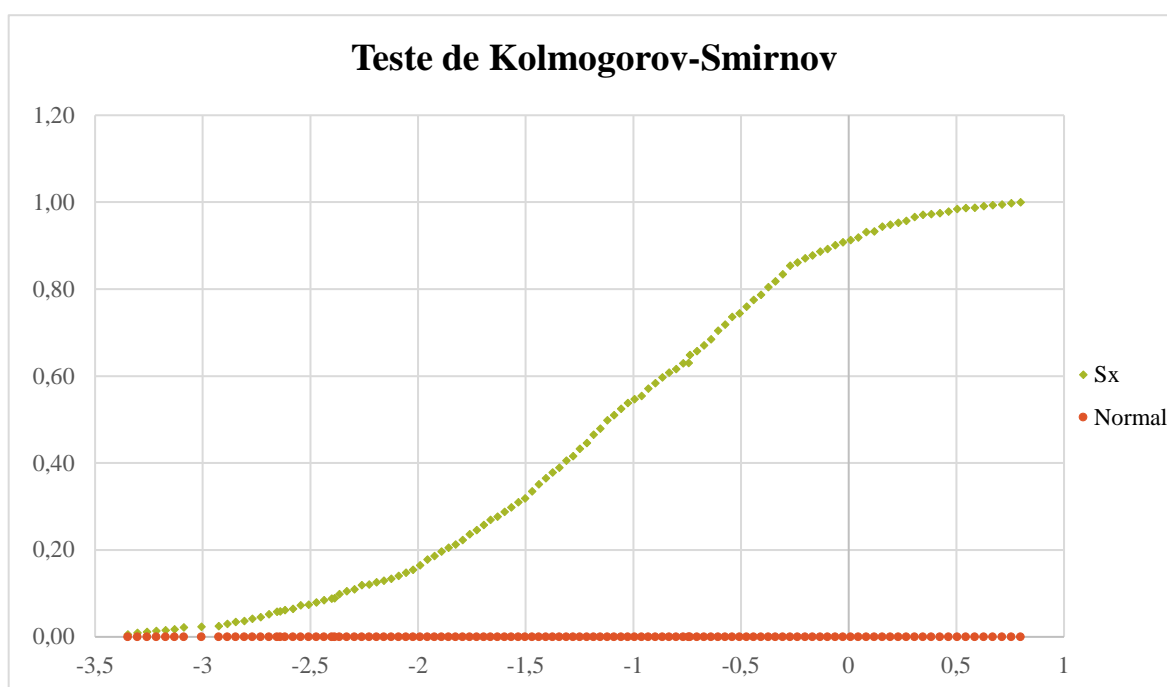


Figura 16: Representação gráfica do teste de Kolmogorov-Smirnov ao conjunto de dados transformados.

4.3.4 Método da Variância Ponderada

Efetuada o estudo por duas vezes do teste de Kolmogorov-Smirnov, verifica-se que as várias observações do parâmetro viscosidade não seguem uma distribuição normal. Nesta situação a solução é a aplicação do método *WV*.

Aplicando o método *WV* a partir da distribuição original assimétrica, ou seja, a partir dos dados inicialmente mencionados no início do estudo, procedeu-se à determinação das duas novas distribuições com a mesma média, mas com variâncias diferentes. Como o método alternativo ao estudo é estabelecido para a carta da média e da amplitude, foi

necessário proceder à adaptação das equações que se encontram no **Quadro 5**. Assim, P_x e os limites de controlo estatísticos passam a ser estimados pelas seguintes equações.

$$\hat{P}_x = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \delta(\bar{X} - X_{ij})}{n \times k} \quad (4.1)$$

$$LSC_{wv\bar{x}} = \bar{X} + W_u \bar{R} \quad (4.2)$$

$$LIC_{wv\bar{x}} = \bar{X} - W_L \bar{R}$$

$$LSC_{wvr} = V_U \bar{R} \quad (4.3)$$

$$LIC_{wvr} = V_L \bar{R}$$

Após a adaptação das equações à carta de observações individuais e das amplitudes móveis procede-se à determinação dos limites de controlo pelo método *WV*. O **Quadro 16** apresenta, respetivamente, o cálculo de P_x e a determinação dos limites de controlo para as cartas de controlo segundo o método *WV*.

Quadro 16: Estimação do P_x e determinação dos limites de controlo para a carta *X* e *MR* pelo método *WV*.

Viscosidade (cP) – Molho A								
Período: janeiro de 2015 a março de 2017								
Fase: Descarga								
Média (LC)	P_x	Intervalo obtido pelo Método <i>WV</i>					% Amostras	
		Carta X			Carta MR		Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
		LIC	Amplitude	LSC	LC	LSC		
13179	0,554	11152	4210	15362	1108	3800	13%	8%

Nesta fase, após a estimacão do $P_x = 0,554$ através da equação (4.1), verifica-se que as observações são aproximadamente simétricas. Determinados os limites inferiores e superiores de controlo para as cartas *X* e *MR* segundo o método *WV*, verifica-se que os intervalos obtidos têm um desempenho idêntico ao intervalo após a eliminacão dos dados (**Quadro 11 e 12**). Como o método *WV* se baseia no pressuposto de que a média de uma distribuicão assimétrica pode dividi-la em dois segmentos, sendo cada um deles usado para

criar a respetiva nova distribuição simétrica, verifica-se que o limite inferior obtido para a carta X está a subir relativamente ao mesmo limite para o intervalo após a eliminação dos dados, obtendo-se piores resultados relativamente à percentagem de observações acima e abaixo do limite superior e inferior de controlo, tanto no **Quadro 10** como no **Quadro 11 e 12**.

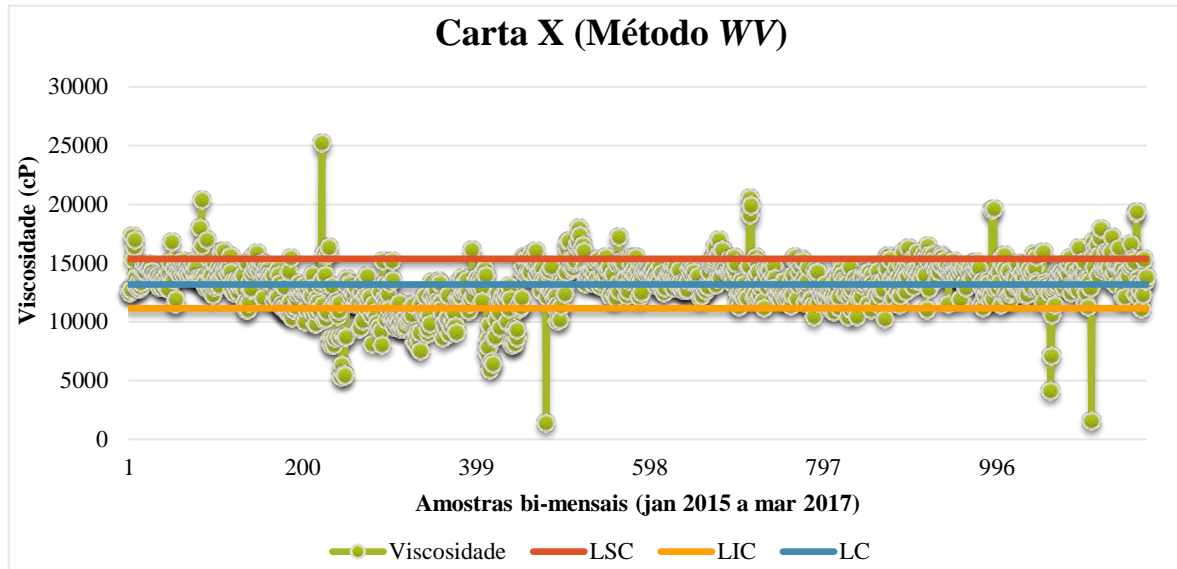


Figura 17: Carta de observações individuais adaptada ao método WV.

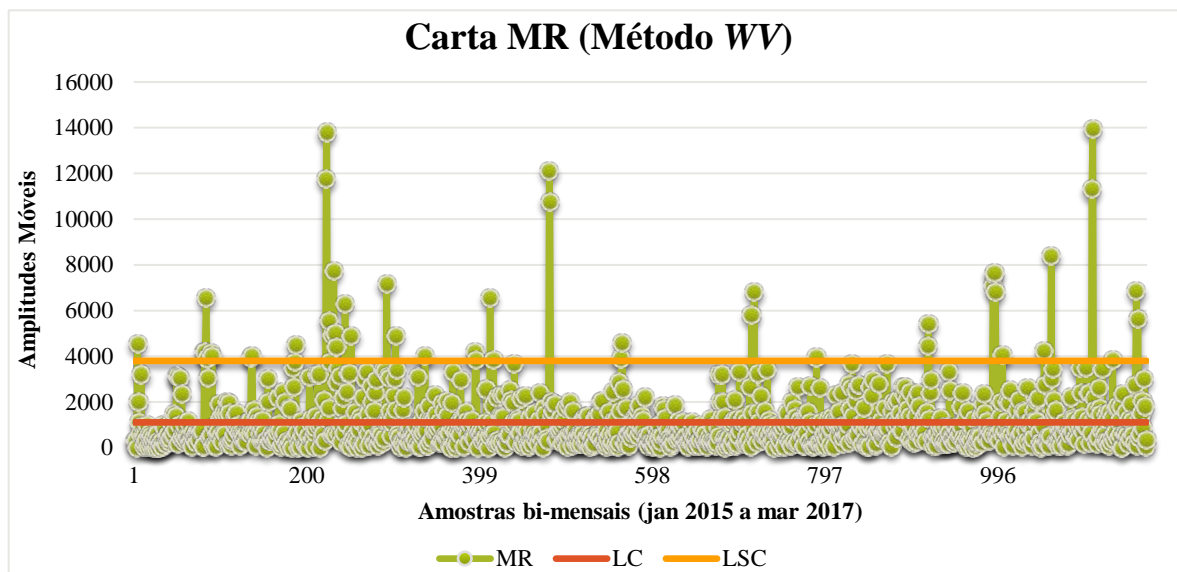


Figura 18: Carta das amplitudes móveis adaptada ao método WV.

Ao aplicar o método WV para distribuições assimétricas, verificou-se que não é o mais adequado para o estudo, mas sim a metodologia adotada desde o início do estudo prático. Durante a sua aplicação averiguou-se que o método WV conduziu a um desempenho idêntico ao das cartas de controlo de Shewhart, sendo os intervalos obtidos muito próximos.

Os novos intervalos obtidos pelo método *WV* apresentam piores resultados ao nível das observações que ultrapassam os limites inferior e superior de controlo impostos. Num total de 1167 observações, 251 ultrapassam os limites estabelecidos, mais concretamente 97 observações acima do limite superior e 154 observações abaixo do limite inferior de controlo, relativamente aos intervalos inicialmente obtidos no decorrer do estudo.

4.3.5 Síntese dos resultados finais

O fim do estágio resultou em 72 produtos analisados e estabelecidos novos intervalos aos seus parâmetros de qualidade tanto à descarga como à linha, de acordo com o estabelecido pelo laboratório de qualidade ao nível dos parâmetros e análises efetuadas. Após o tratamento dos dados destes produtos efetuou-se um levantamento do número total de novos intervalos que irão substituir os intervalos inicialmente estabelecidos pelo laboratório de qualidade (**Quadro 17**). O número de casas decimais impostas a cada intervalo dos vários parâmetros de qualidade específicos aos produtos analisados, foram estabelecidos em conjunto com a pessoa responsável pelo laboratório de qualidade da empresa.

Quadro 17: Número de produtos em que ocorreu a alteração dos seus intervalos aos parâmetros de qualidade, estabelecidos na empresa.

		Parâmetros																	
		Descarga									Linha								
Grupo	Nº.	A	B	C	D	E	F	G			A	a	B	b	C	c	D	d	H
								L*	a*	b*									
Mostarda	9	9	9			9	$\frac{8}{9}$	9	9	9	$\frac{4}{4}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{8}{8}$					$\frac{6}{6}$
Maionese	9	$\frac{8}{9}$	9			9	9	$\frac{7}{9}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{7}{9}$		9		9					9
Ketchup	6	$\frac{5}{6}$		6	$\frac{5}{6}$	6	6	6	6	6	$\frac{4}{6}$	$\frac{5}{6}$			6	6	$\frac{5}{6}$	$\frac{5}{6}$	
Molhos	44	$\frac{39}{41}$	$\frac{34}{37}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{40}{41}$	$\frac{37}{39}$	$\frac{40}{43}$	$\frac{33}{43}$	$\frac{40}{43}$		$\frac{38}{41}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{32}{36}$		$\frac{9}{10}$		$\frac{1}{1}$	$\frac{36}{40}$
Piripiri	4	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{4}$		$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	4	4	4		$\frac{3}{3}$		$\frac{3}{3}$		$\frac{3}{4}$			4
Total	72																		

Legenda: A- pH; a- pH 20°C; B- Viscosidade; b- Viscosidade 20°C; C- Teor de sólidos solúveis; c- Teor de sólidos solúveis 20°C; D- Consistência; d- Consistência 20°C; E- Acidez; F- Cloretos; G- Cor CIELAB (L*, a*, b*); G- Densidade 20°C.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Qualidade é um requisito fundamental de qualquer indústria alimentar devido ao aumento pela competição na entrada em novos mercados nacionais e internacionais captando novos clientes, pela constante procura ao nível da melhoria de processos e fórmulas de novos produtos para alcançar e cativar cada vez mais consumidores. As indústrias para colmatar essas novas exigências adotaram novos processos e metodologias de modo a atingir volumes de produção mais elevados e a menor custo. Neste contexto insere-se a empresa Mendes Gonçalves, S.A., onde decorreu o estudo prático, líder na produção de vinagres, molhos e temperos em Portugal.

A pesquisa e o desenvolvimento de metodologias para a aplicação do CEP aos parâmetros de qualidade dos produtos analisados no laboratório de qualidade foram o grande objetivo da presente dissertação. Para a concretização deste objetivo foi necessário proceder a uma investigação teórica exaustiva sobre o CEP e respetiva metodologia associada, com recurso a bibliografia diversificada, desde livros científicos de vários autores passando por artigos científicos publicados em jornais e revista conceituadas, para que o conhecimento sobre o tema permitisse a aplicação das metodologias mais adequadas ao processo. Averiguou-se que a ferramenta aplicada no CEP são as cartas de controlo desenvolvidas por Shewhart, pelo que se procedeu à sua aplicação bem como a métodos alternativos à mesma.

O estudo culminou em 72 produtos analisados e estabelecidos novos intervalos aos parâmetros de qualidade específicos a cada um deles. Destes 72 produtos analisados destacam-se, 9 maioneses, 9 mostardas, 6 ketchups, 44 molhos e 4 piri-piris. Na presente dissertação devido à quantidade de novos intervalos estabelecidos aos parâmetros de cada produto, só foi possível apresentar um único produto, molho A, representativo dos demais 71 e descrito apenas um parâmetro de qualidade, viscosidade, que se demonstrou mais relevante, assim como as principais metodologias aplicadas, que seguem a mesma linha de raciocínio para todos os parâmetros estabelecidos.

No laboratório de qualidade são efetuadas diariamente milhares de análises a diversos produtos, relativamente ao molho A, os principais parâmetros de qualidade específicos a serem analisados para se poder libertar o produto são o pH, viscosidade e a cor (L^* , a^* , b^*). Estes parâmetros se estiverem dentro das especificações estabelecidas, liberta-se o produto que pode encaminhado para o enchimento. Após a sua libertação procede-se à realização da acidez e dos cloretos para garantir o cumprimento das especificações técnicas, caso os parâmetros inicialmente analisados estejam dentro dos limites estabelecidos, caso contrário

tem de se proceder à acidez de imediato. Quando o produto é embalado, realizam-se outras análises para garantir que o produto não sofreu alteração, nesta fase, realizam-se a 20°C as primeiras amostras e as restantes à temperatura ambiente, os parâmetros de qualidade, pH, viscosidade e a densidade.

No entanto, caso se verifique qualquer alteração na receita ou sistema produtivo os dados anteriores até à data, não são incluídos no estudo. Após o tratamento dos dados foram aplicadas as novas cartas de controlo de observações individuais e das amplitudes móveis para o tipo de amostras em estudo, após a obtenção das novas cartas de controlo foi efetuado um estudo para se determinar quantas observações ultrapassavam os limites de controlo obtido. Caso se verifique o sucedido procedeu-se à eliminação das observações que transcendem os limites impostos, obtendo-se as cartas de controlo finais para o parâmetro analisado. Foi verificado o pressuposto da normalidade, tal como demonstrado para o parâmetro da viscosidade, com recurso ao teste de Kolmogorov-Smirnov e verificou-se que os dados não seguiam distribuição normal, sendo necessário proceder ao SDJ. Após a transformação dos dados e realizado novo teste de normalidade verificou-se que continuam a seguir o mesmo pressuposto inicial. Assim, foi necessário recorrer a um método alternativo para distribuições assimétricas, o método *WV*, verificando-se que este tem um desempenho inferior ao intervalo final obtido pelas cartas tradicionais, verificando-se que conduz a um desempenho relativamente parecido. Analisando todo o processo chega-se à conclusão que as cartas estabelecidas na obtenção do intervalo final para os parâmetros em questão são as mais indicadas, relevando com isto que as populações são praticamente simétricas, mas como se tratam de grandes volumes de dados com muitas observações repetidas sucede-se isto.

Após a aplicação e análise das cartas de controlo estatístico verificou-se que os parâmetros em que se deteta uma maior variabilidade no processo são o pH, a viscosidade e a cor. Estes parâmetros constituem uma variável de difícil controlo na fábrica.

Nesta fase de aplicação das cartas de controlo detetaram-se diversas fontes de variação que influenciam diretamente o resultado final. Desde o produto intermédio até ao produto acabado ocorrem determinados fatores que desencadeiam causas especiais, desde a pesagem das matérias-primas, fabrico do produto em máquinas industriais até à linha de enchimento, onde podem ocorrer diversos problemas que alteram algumas das características dos produtos nas duas fases de extração dos dados para análise.

No decorrer da análise estatística realizada ao longo do estágio curricular surgiram vários obstáculos que dificultaram o desenrolar do trabalho prático, sendo possível propor medidas que podem contribuir para uma melhoria do processo.

Os valores da viscosidade são fortemente influenciados pelo sistema de refrigeração das máquinas de produção, propondo-se um plano de manutenção preventivo para as mesmas, com o intuito de diminuir a variabilidade deste parâmetro. Relativamente ao parâmetro cor, a quantidade de produto analisada no colorímetro deverá ser estabelecida, para evitar grandes discrepâncias entre valores de histórico.

No registo do histórico de cada parâmetro dos produtos deveria existir a indicação das máquinas de produção, para sensibilizar as técnicas de qualidade para as diferenças existentes entre eles para permitir um controlo da variabilidade dos valores dos produtos que são produzidos em máquinas diferentes. Por outro lado, no mesmo histórico deveria ser feita uma separação dos valores efetivamente corretos que deram origem ao seguimento do produto intermédio para as linhas de enchimento, não induzindo deste modo a erros estatísticos.

Apesar de existirem intervalos estabelecidos, por vezes desajustados aos parâmetros de qualidade dos produtos, o papel das técnicas de controlo da qualidade é fundamental na deteção de anomalias relativamente aos produtos, aplicando medidas corretivas. Assim, o conhecimento e experiência dos operadores é fundamental no controlo da qualidade/produção de produtos e a existência de intervalos adequados tornará menos subjetiva a avaliação.

Considera-se que o principal objetivo do estudo, avaliação/atualização dos intervalos estabelecidos aos parâmetros de qualidade dos produtos da empresa Mendes Gonçalves, S.A., foi alcançado e bastante relevante na medida em que responde a uma solicitação da empresa existindo predisposição para a aplicação dos resultados obtidos no controlo dos produtos. No entanto este é um trabalho em contínuo aperfeiçoamento, sendo necessário o desenvolvimento de novas metodologias e técnicas.

BIBLIOGRAFIA

- Agostinho, I. A. L. (2011). *Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa indústria de Derivados de Tomate*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 392 pp.
- Alwan, L. C. & Roberts, H. V. (1988). Time-Series Modeling for Statistical Process Control. *Journal of Business & Economic Statistics*, 6 (1), 87-95.
- Andreev, A., Kanto, A. & Malo, P. (2005). *Simple Approach for Distribution Selection in the Pearson System*. Finland: Helsinki School of Economics, 25 pp.
- Bai, D. S. & Choi, I. S. (1995). \bar{X} e R Control Charts for Skewed Populations. *Journal of Quality Technology*, 27 (2), 120-131.
- Baldassarre, M. T., Boffoli, N. & Caivano, D. (2010). Statistical Process Control for Software: Fill the Gap. In A. Coskun (Eds), *Quality Management and Six Sigma*, (135-154). Croatia: Sciyo.
- Box, G. E. & Cox, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 26 (2), 211-252.
- Coleman, S., Greenfield, T., Stewardson, D. & Montgomery, D. C. (2008). *Statistical Practice in Business and Industry*. England: John Wiley & Sons, Ltd., 435 pp.
- Coskun, A. (2010). *Quality Management and Six Sigma*. (1th ed.). Croatia: Sciyo, 284 pp.
- Cox, M. A. A. (2009). Control charts for monitoring observations from a truncated normal distribution. *The Journal of Risk Finance*, 10 (3), 288-304.
- Cruz, A. M. D. C. A. (2013). *Utilização de cartas de controlo para monitorização em tempo real da qualidade da água numa rede de distribuição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 117 pp.
- D'Agostinho, R. B. & Stephens, M. A. (1986). *Goodness-of-fit techniques*. New York: Marcel Dekker, Inc., 560 pp;
- Dora, M., Kumar, M., Goubergen, D. V., Molnar, A., Gellynck, X. (2013). Food Quality management system: Reviewing assessment strategies and a feasibility study for European doo small and medium-sized enterprises. *Food Control*, 31(2), 607-616.
- Gilbert, K. C., Kirby, K. & Hild, C. R. (1997). Charting Autocorrelated Data: Guidelines for Practitioners. *Quality Engineering*, 9 (3), 367-382.
- Gomes, P. J. P. (2004). A evolução do conceito de Qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação. *Associação Portuguesa de Bibliotecários, arquivistas e Documentalistas (BAD)*, 2, 6-18.

- Hubbard, M. R. (2003). *Statistical Quality Control for the Food Industry*. (3th ed.). New York: Klumer Academic / Plenum Publishers, 359 pp.
- ISO 8258-2 (2005). *Control Charts – Part 2: Shewhart Control Charts*. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.
- Johnson, N. L. (1949). Systems of Frequency Curves Generated by Methods of Translation. *Biometrika*, 36 (1-2), 149-176.
- Juran, J. M. & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook*. (5th ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc., 1730 pp.
- Kulahci, M. & Borrer, C. (2008). Advanced statistical process control. In S. Coleman, T. Greenfield, D. Stewardson, D. C. Montgomery (Eds), *Statistical Practice in Business and Industry*, (214-216). England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399-402.
- Madanhire, I. & Mbohwa, C. (2016). Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country. *Procedia CIRP*, 40, 580-583.
- Mast, J. D. (2008). A history of industrial statistics and quality and efficiency improvement. In S. Coleman, T. Greenfield, D. Stewardson, D. C. Montgomery (Eds), *Statistical Practice in Business and Industry*, (15-27). England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Matos, A. S. B. (2016). *Aplicação de Cartas de Controlo na análise de arsénio: Controlo da Qualidade Interno de Brancos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 145 pp.
- Mendes Gonçalves, S.A. (2016 a). *Manual da Qualidade e Segurança Alimentar*.
- Mendes Gonçalves, S.A. (2016 b). *Molhos (Estudo HACCP)*.
- Mendes Gonçalves, S.A. (2017). *As Nossas Marcas*. Acedido em jul. 10, 2017 disponível em: <http://www.mendesgoncalves.pt/nossas-marcas>.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. (6th ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc., 754 pp.
- Morais, M. C. (2013). *Fiabilidade e Controlo de Qualidade: Notas de apoio – Controlo da Qualidade*. Lisboa: Secção de Estatística e Aplicações – Instituto Superior Técnico, 86 pp.
- NP EN ISO 22000 (2005). *Sistemas de gestão de segurança alimentar*. IPQ – Instituto Português da Qualidade, 53 pp.
- NP EN ISO 9001 (2015). *Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos*. Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade, 40 pp.

- Oliveira, C. C., Granato, D., Caruso, M. S. F. & Sakuma, A. M. (2013). *Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 76 pp.
- Oakland, J. S. (2008). *Statistical Process Control*. (6th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann, 473 pp.
- Palm, A. C. (2000). Discussion: Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. *Journal of Quality Technology*, 32 (4), 356-360.
- Paulo, A. M. A. (2013). Testes de ajustamento: teste do Qui-Quadrado, teste de Kolmogorov-Smirnov, teste de Shapiro-Wilk. In: *Apontamentos da disciplina de Delineamento Experimental*. Escola Superior Agrária de Santarém – Instituto Politécnico de Santarém.
- Pearson, K. (1895). Contributions to the Mathematical Theory of Evolution. II. Skew Variation in Homogeneous Material. *The Royal Society*, 186, 343-414.
- Pereira, Z. L. & Requeijo, J. G. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. (2ª ed.). Caparica: FFCT – Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 791 pp.
- Pires, A. R. (2007). *Qualidade – Sistema de Gestão da Qualidade*. (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo, Lda, 582 pp.
- Prajapati, D. R., Mahapatra, P. B. (2008). A simple and effective \bar{X} chart for process monitoring. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25 (5), 508-531.
- Quesenberry, C. P. (1997). *SPC Methods for Quality Improvement*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 694 pp.
- Reeves, C. A. & Bednar, D. A. (1994). Defining Quality: Alternatives and Implications. *Academy of Management Review*, 19 (3), 419-445.
- Ribeiro, R. J. F. (2014). *Orçamento de vendas para a marca “Paladin”*. Dissertação de Mestrado em Controlo de gestão. Coimbra: Escola Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra – Instituto Politécnico de Coimbra, 133 pp.
- Ryan, T. P. (2011). *Statistical Methods for Quality Improvement*. (3th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 687 pp.
- Salgado, J. P. M. (2012). *Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria Panificadora*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 154 pp.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. (8th ed.). USA: D. Van Nostrand Company, Inc., 515 pp.

- Slifker, J. F. & Shapiro, S. S. (1980). The Johnson System: Selection and Parameter Estimation. *Technometrics*, 22 (2), 239-246.
- Stapenhurst, T. (2005). *Mastering Statistical Process Control: A Handbook for Performance Improvement Using Cases*. (1th ed.). USA: Elsevier Butterworth-Heinemann, Inc., 497 pp.
- Wadsworth, H., Stephens, K. & Godfrey, A. (2001). *Modern methods for quality control and improvement*. (2th ed.). USA: John Wiley And Sons, 704 pp.
- Western Electric (1956). *Statistical Quality Control Handbook*. Indianapolis: Western Electric Company, Inc., 341 pp.
- Woodall, W. H. (2000). Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. *Journal of Quality Technology*, 32 (4), 341-350.
- Ye, N. (2003). *The Handbook of Data Mining*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 720 pp.

Apêndice I – Estimação dos parâmetros

Apêndice I – Estimação dos parâmetros

- Cartas de controlo de observações individuais e das amplitudes móveis aos restantes parâmetros do molho A;
- Resumo dos intervalos estabelecidos pela empresa Mendes Gonçalves e intervalos finais que passaram a entrar em vigor.

I.1. Molho A

I.1.1 Parâmetro de qualidade 1 – pH

Quadro I.1: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

pH – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 1140

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
3,78	3,7	0,2	3,9	3%	0%

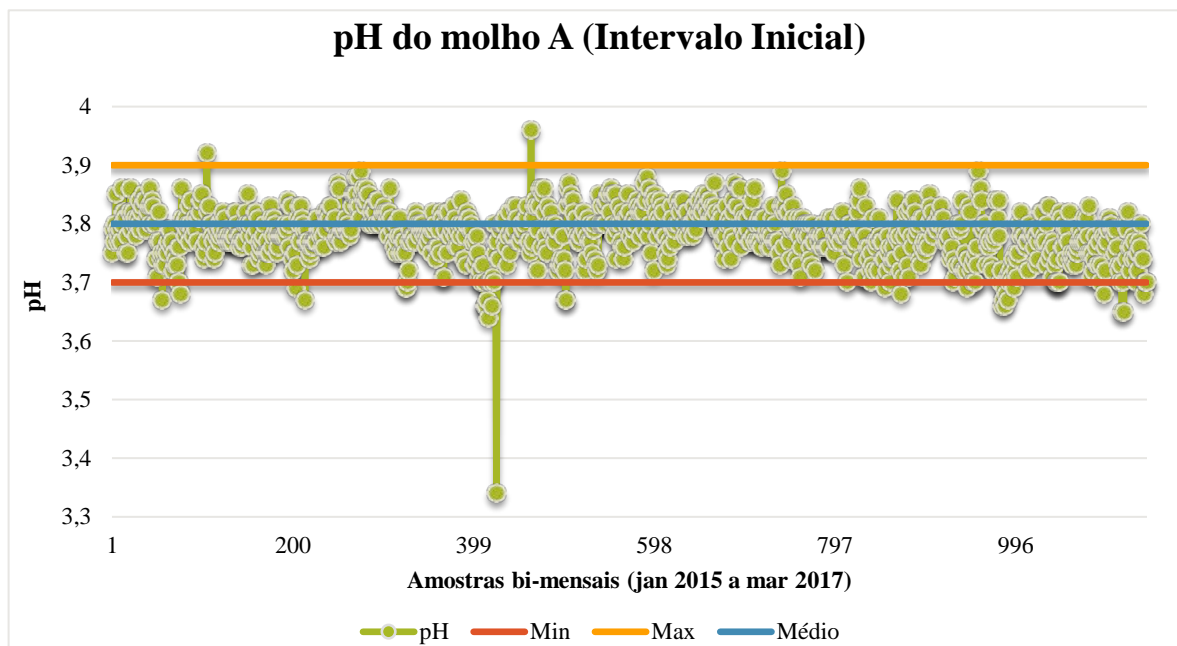


Figura I.1: Intervalo referente ao parâmetro pH do molho A estabelecido na empresa.

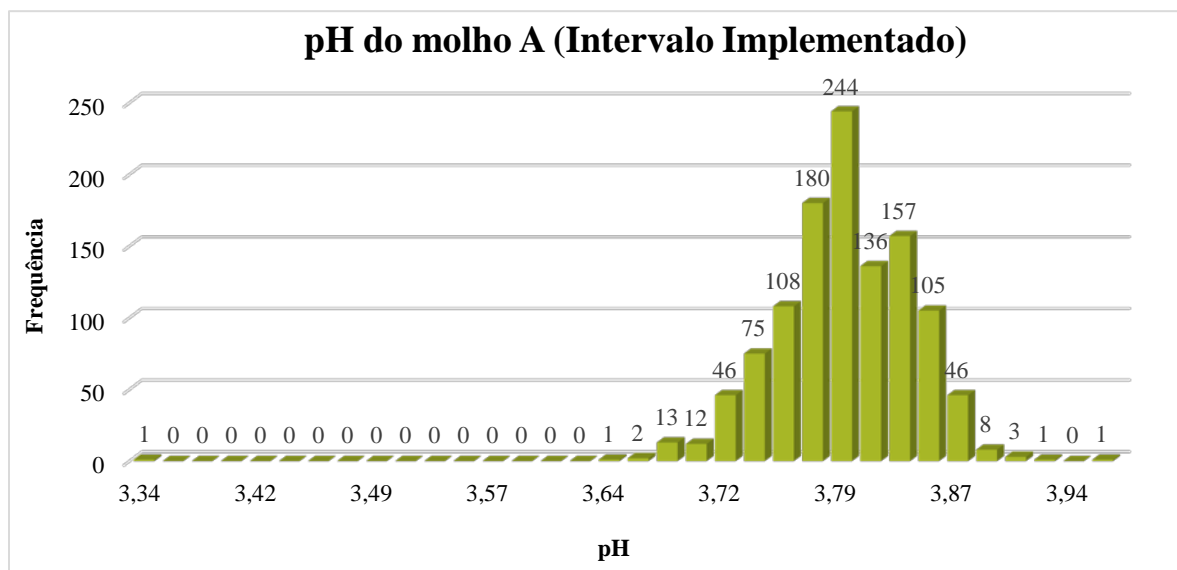


Figura I.2: Distribuição das observações por frequências da Figura I.1.

Quadro I.2: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro pH.

pH – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 1070

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
3,79	3,72	0,14	3,85	7%	3%

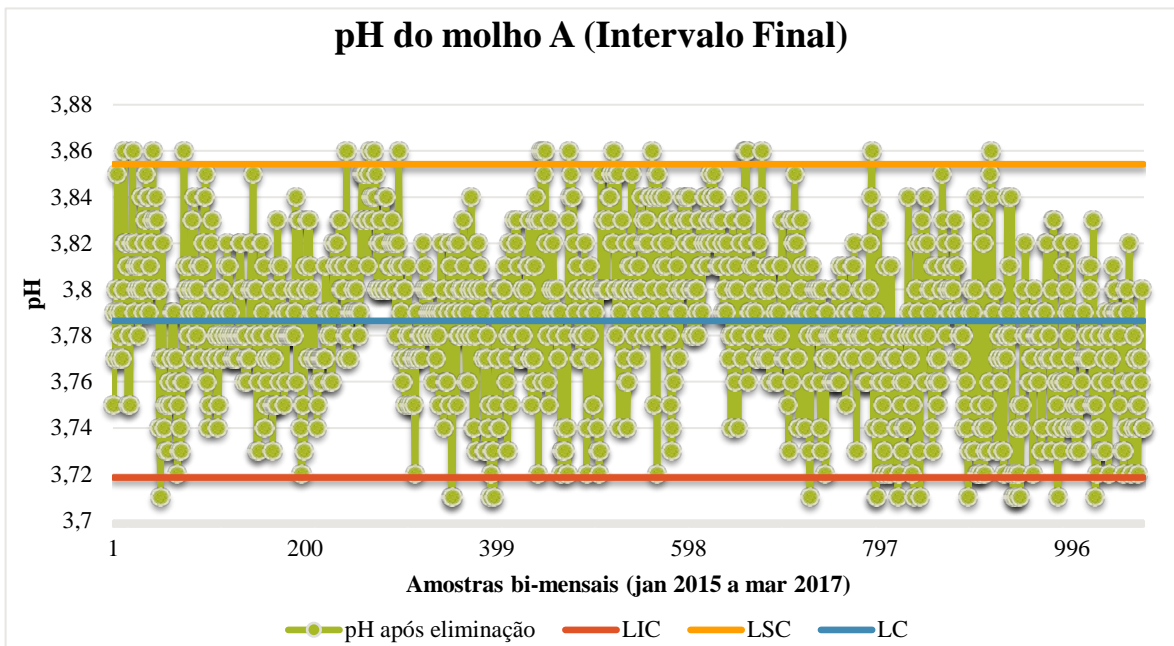


Figura I.3: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH do molho A.

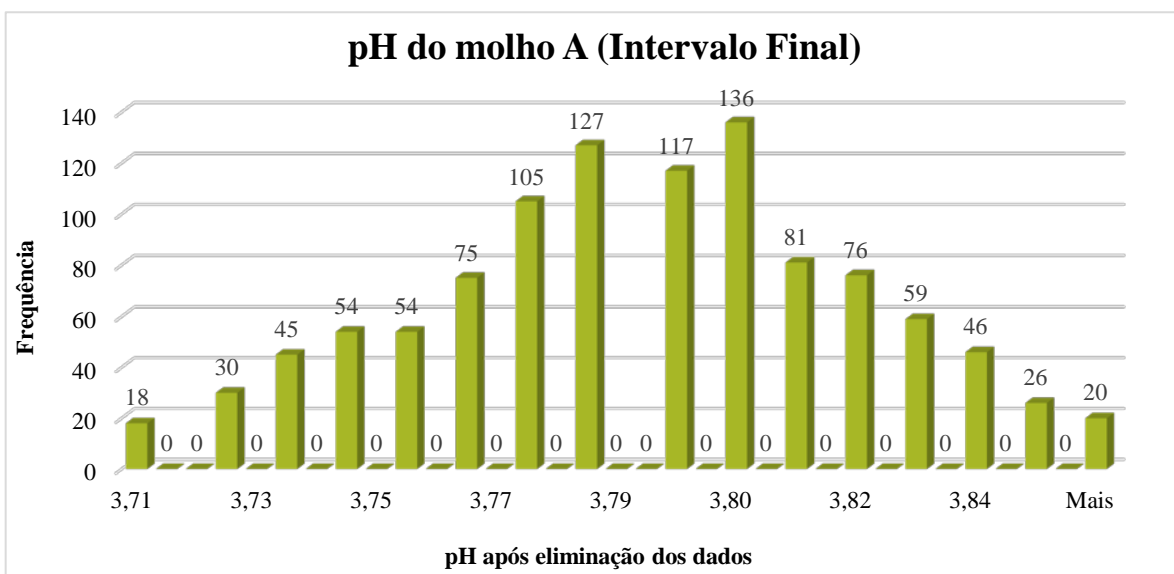


Figura I.4: Distribuição das observações por frequências da Figura I.3.

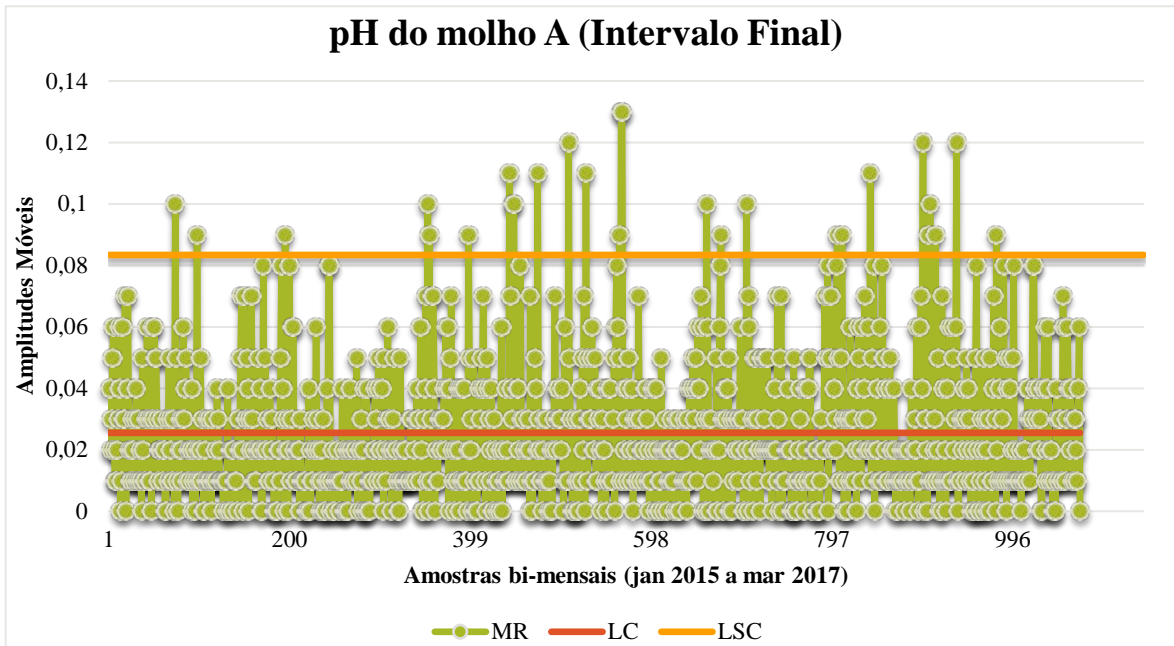


Figura I.5: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH do molho A.

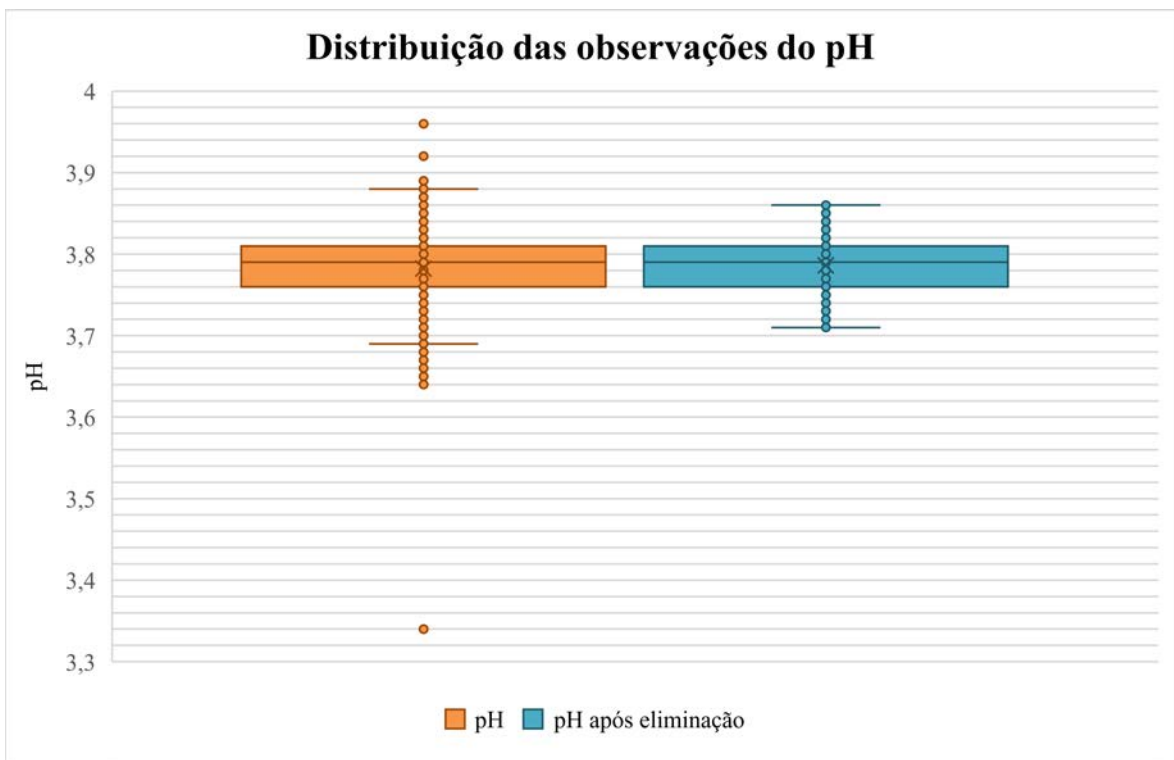


Figura I.6: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro pH em estudo no molho A.

I.1.2 Parâmetro de qualidade 2 – pH 20°C

Quadro I.3: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

pH 20°C – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Linha
Total de Observações: 1073

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
3,71	3,7	0,2	3,9	28%	0%

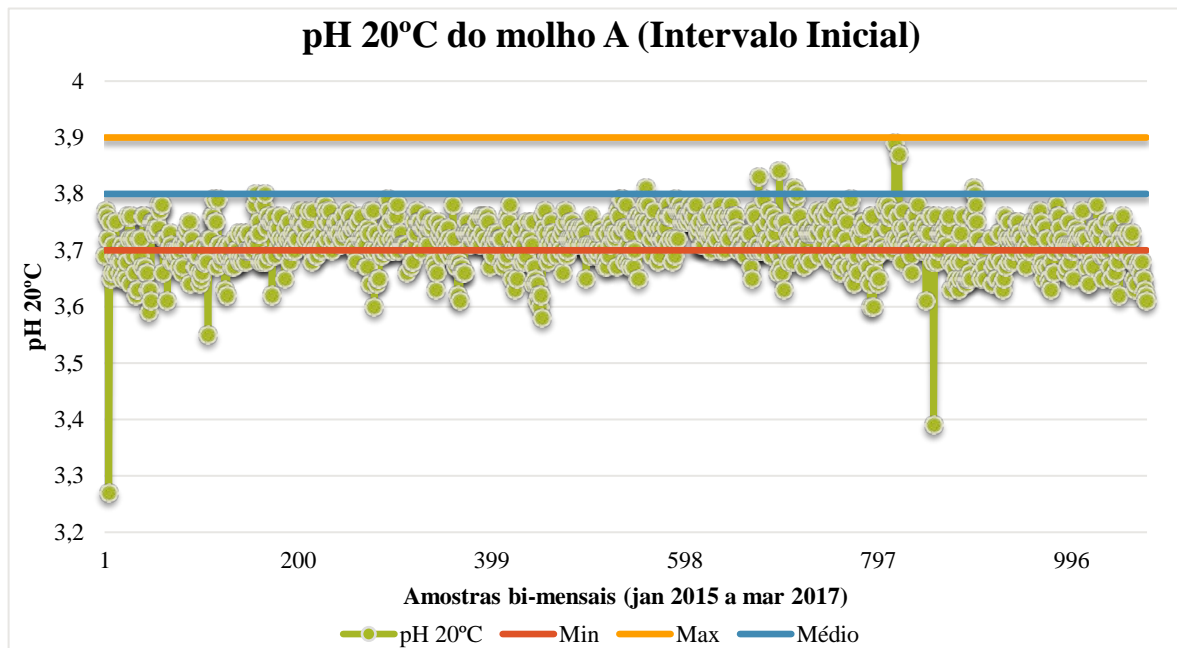


Figura I.7: Intervalo referente ao parâmetro pH 20°C do molho A estabelecido na empresa.

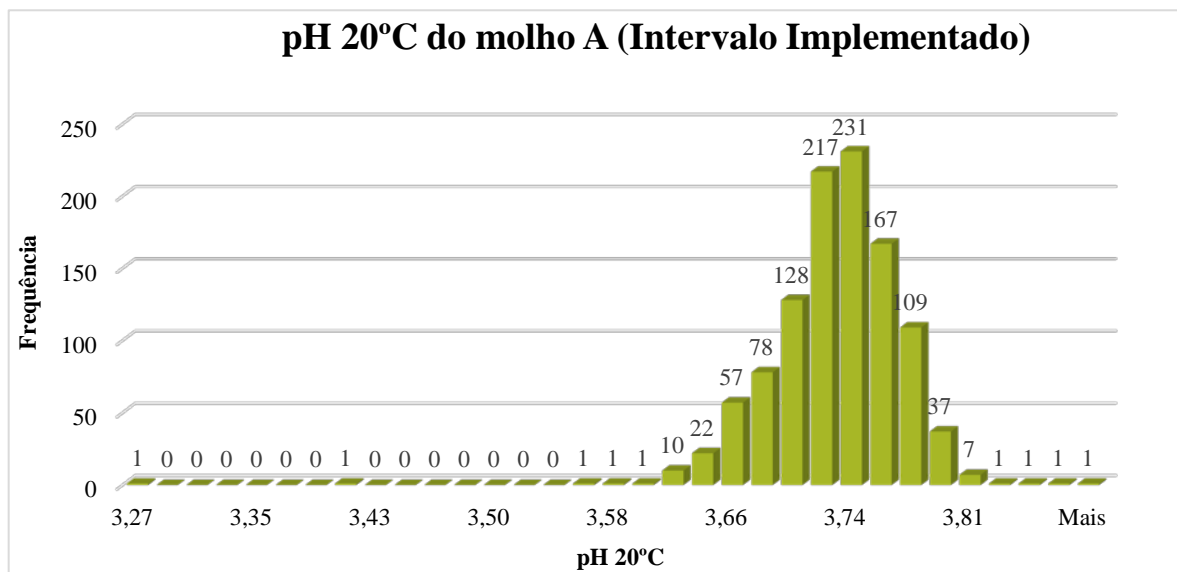


Figura I.8: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.7**.

Quadro I.4: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro pH 20°C.

pH 20°C – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Linha

Total de Observações: 1043

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
3,72	3,64	0,15	3,79	3%	1%

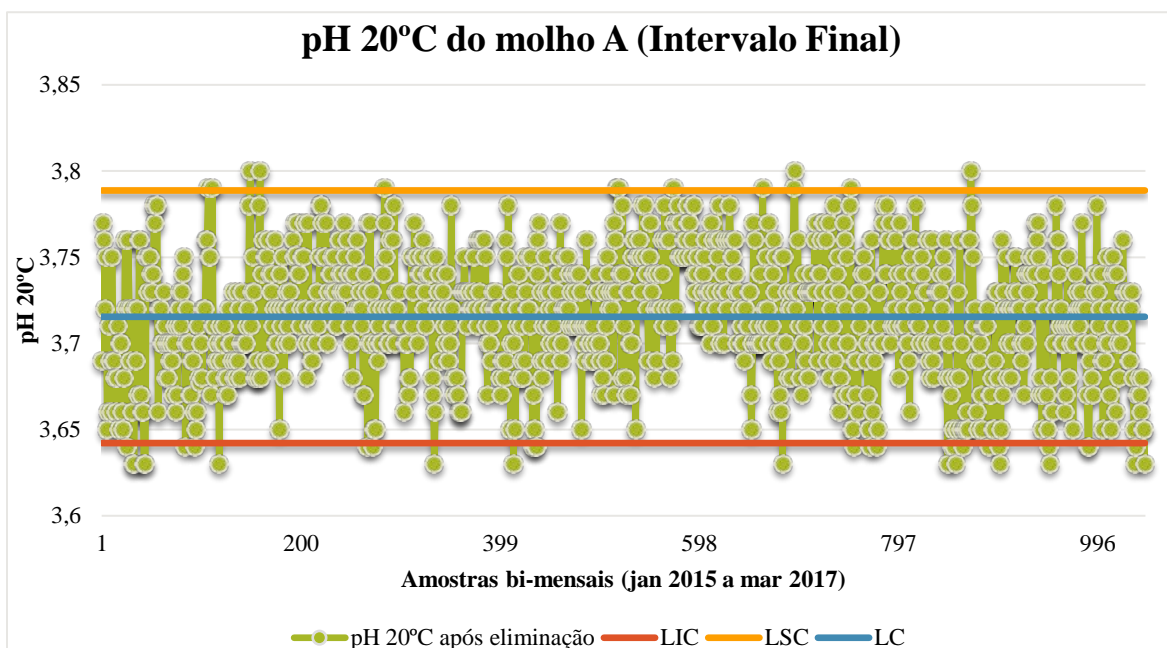


Figura I.9: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH 20°C do molho A.

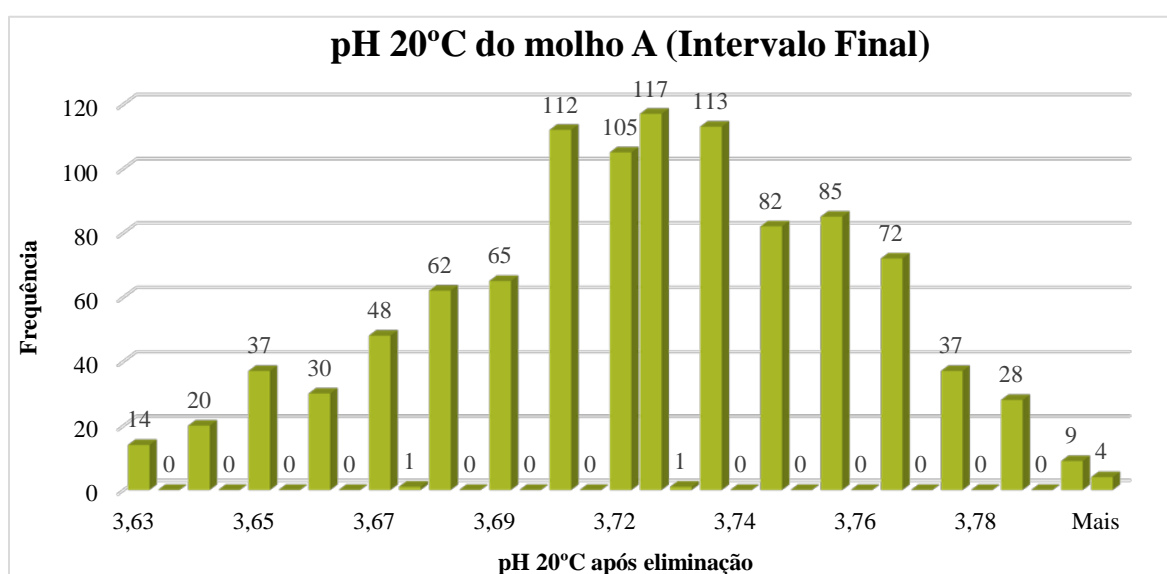


Figura I.10: Distribuição das observações por frequências da Figura I.9.

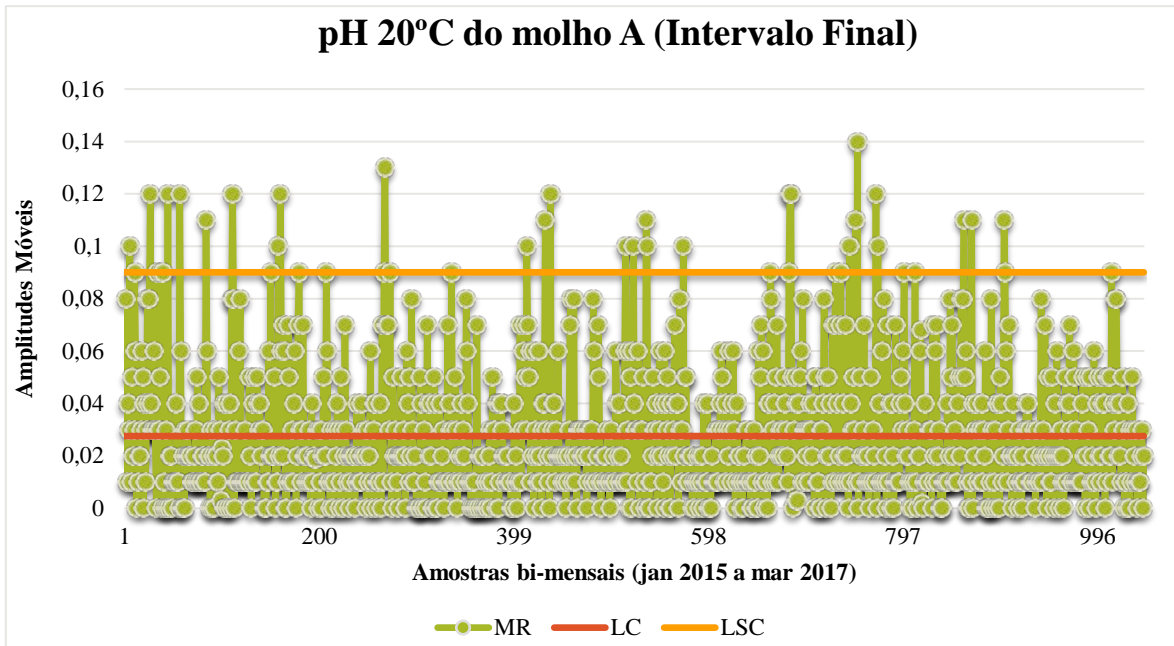


Figura I.11: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro pH 20°C do molho A.

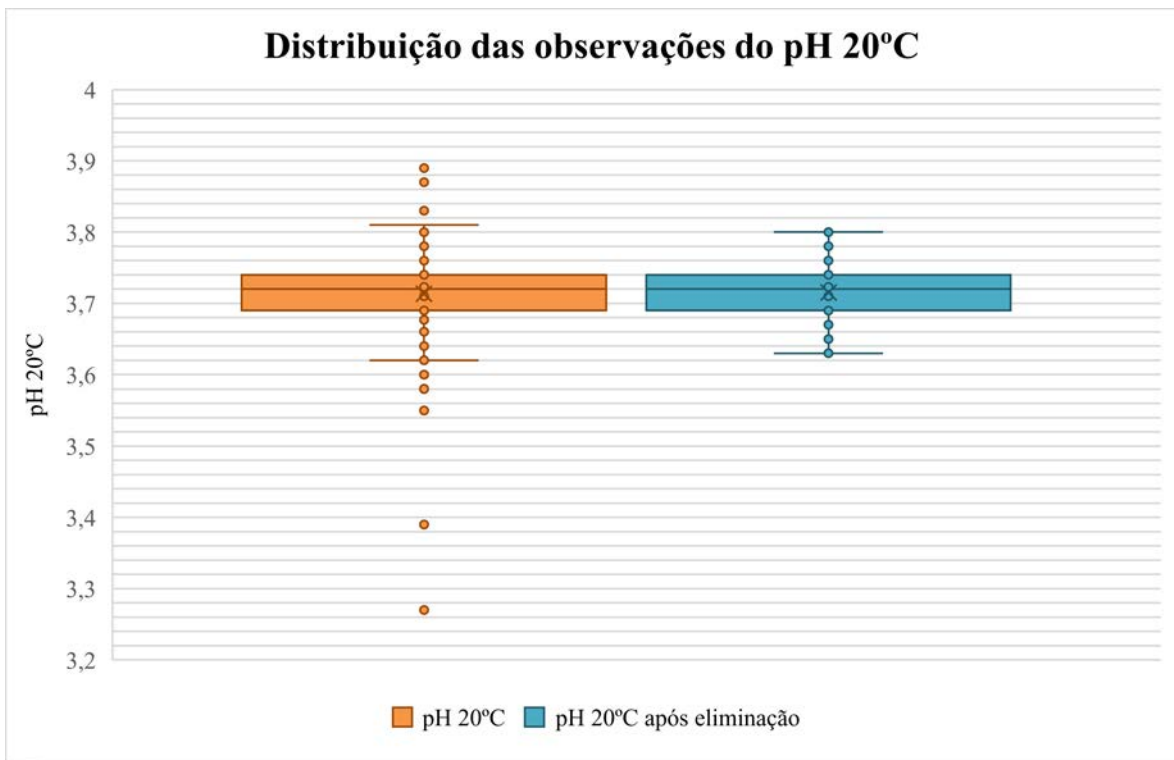


Figura I.12: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro pH 20°C em estudo no molho A.

I.1.3 Parâmetro de qualidade 4 – Viscosidade 20°C

Quadro I.5: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Viscosidade 20°C (cP) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Linha
Total de Observações: 1058

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
16020	14000	6000	20000	15%	2%

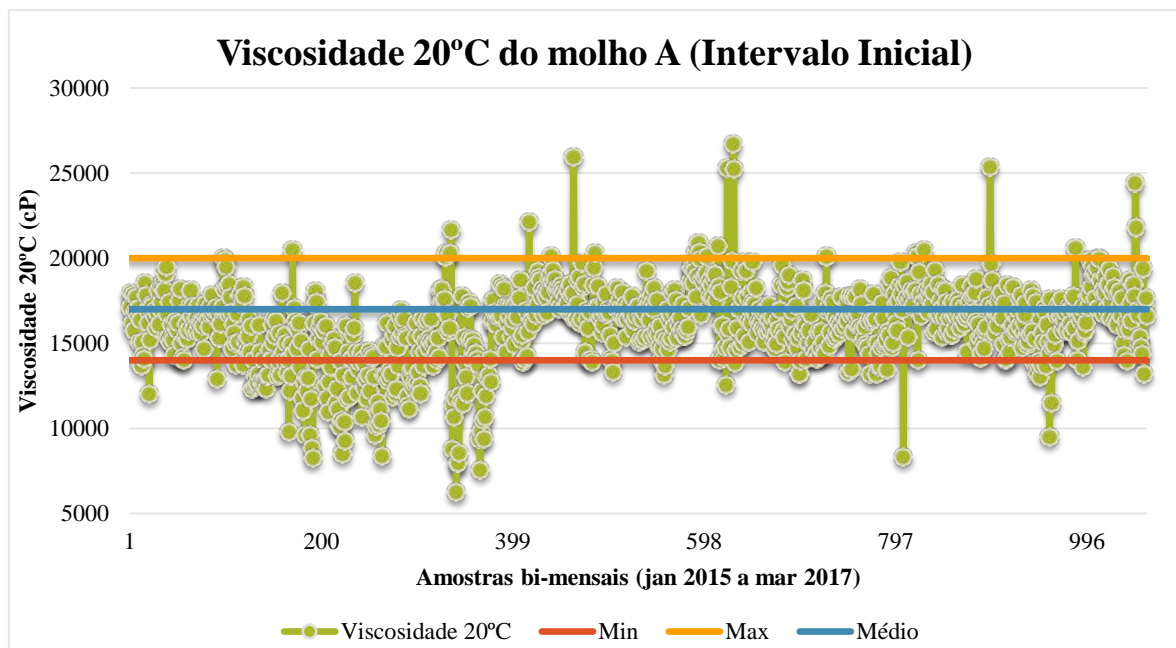


Figura I.13: Intervalo referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A estabelecido na empresa.

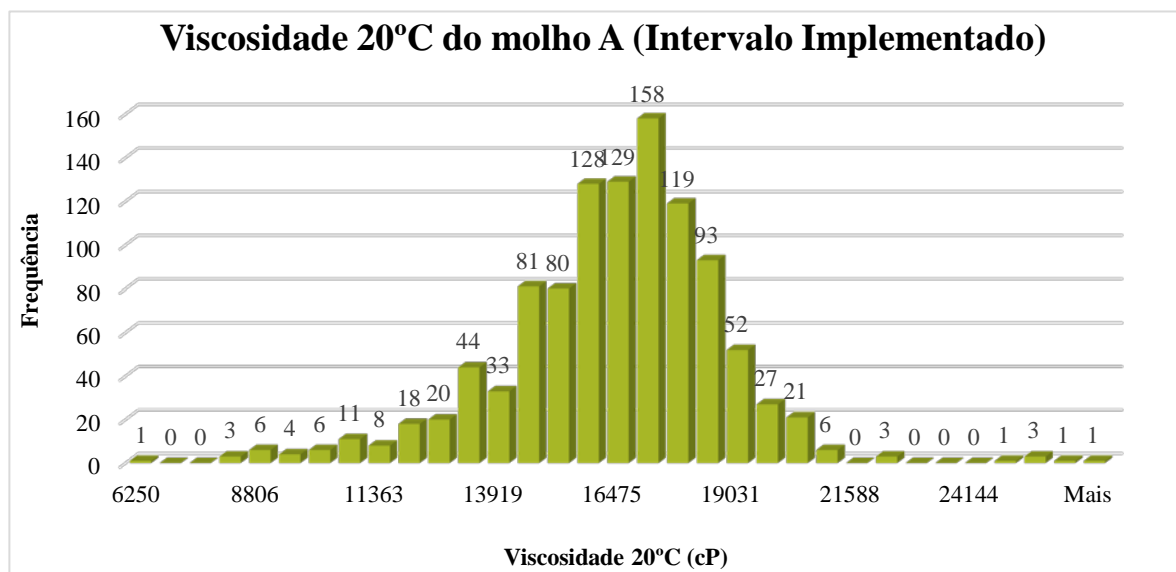


Figura I.14: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.13**.

Quadro I.6: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro viscosidade 20°C.

Viscosidade 20°C (cP) – Molho A					
Período: janeiro de 2015 a março de 2017					
Fase: Linha					
Total de Observações: 962					
Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
16206	13076	6260	19336	9%	5%

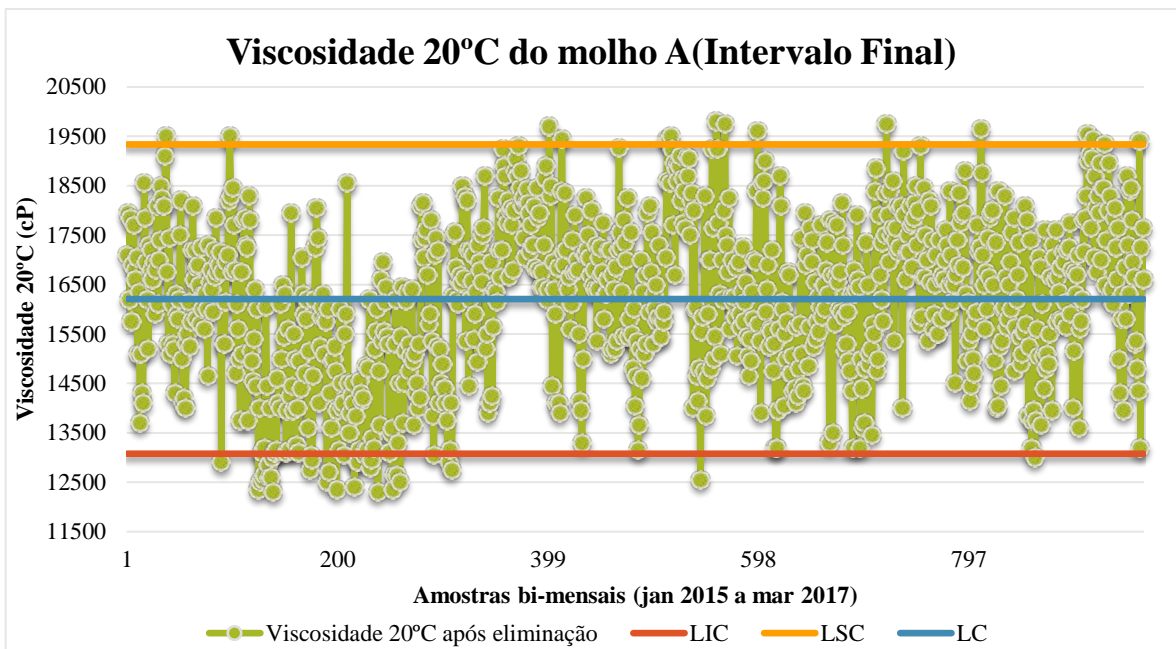


Figura I.15: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A.

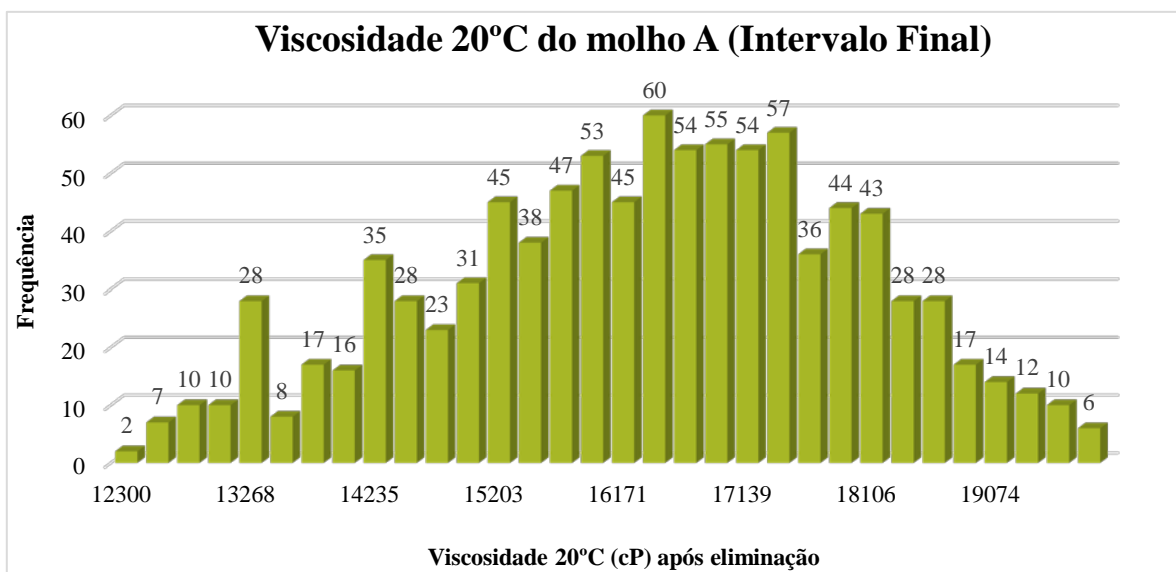


Figura I.16: Distribuição das observações por frequências da Figura I.15.

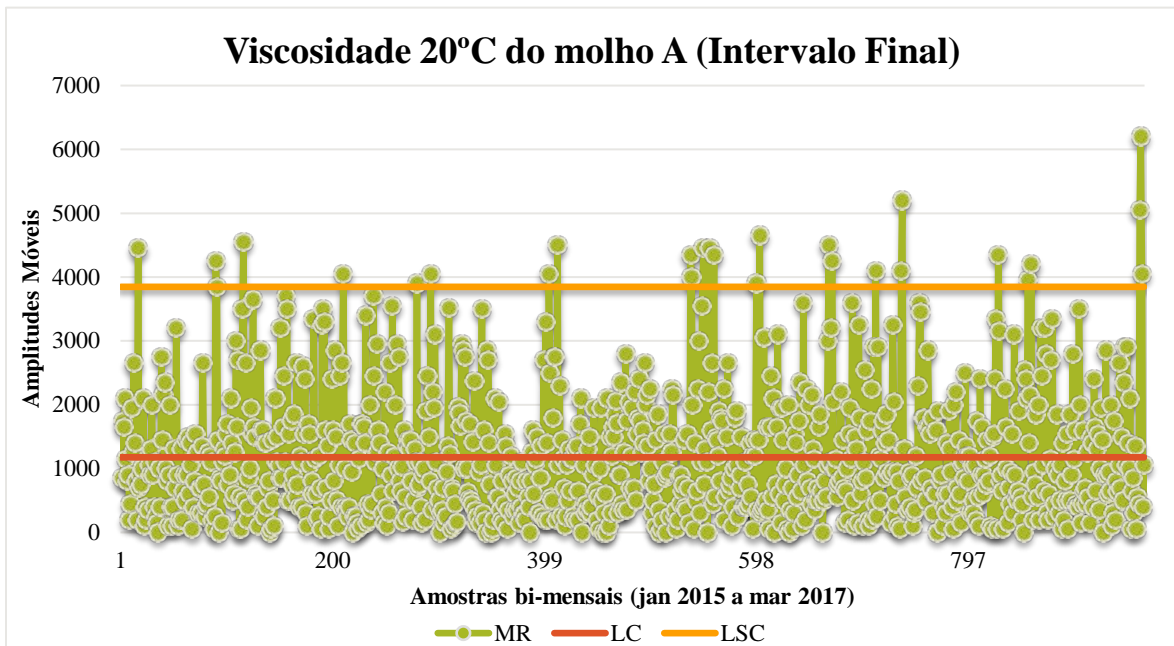


Figura I.17: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro viscosidade 20°C do molho A.

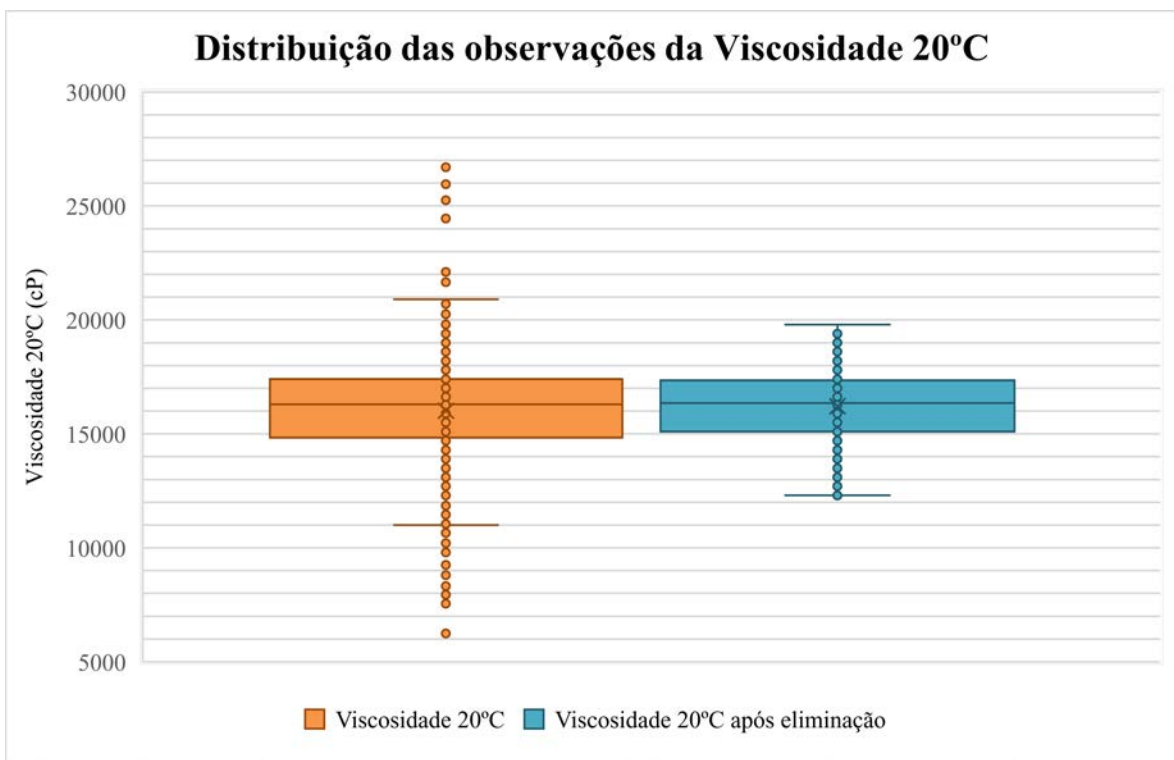


Figura I.18: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro viscosidade 20°C em estudo no molho A.

I.1.4 Parâmetro de qualidade 5 – Densidade 20°C

Quadro I.7: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido pela empresa.

Densidade 20°C (g/mL) – Molho A					
Período: janeiro de 2015 a março de 2017					
Fase: Linha					
Total de Observações: 442					
Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
1,056	1,05	0,01	1,06	9%	17%

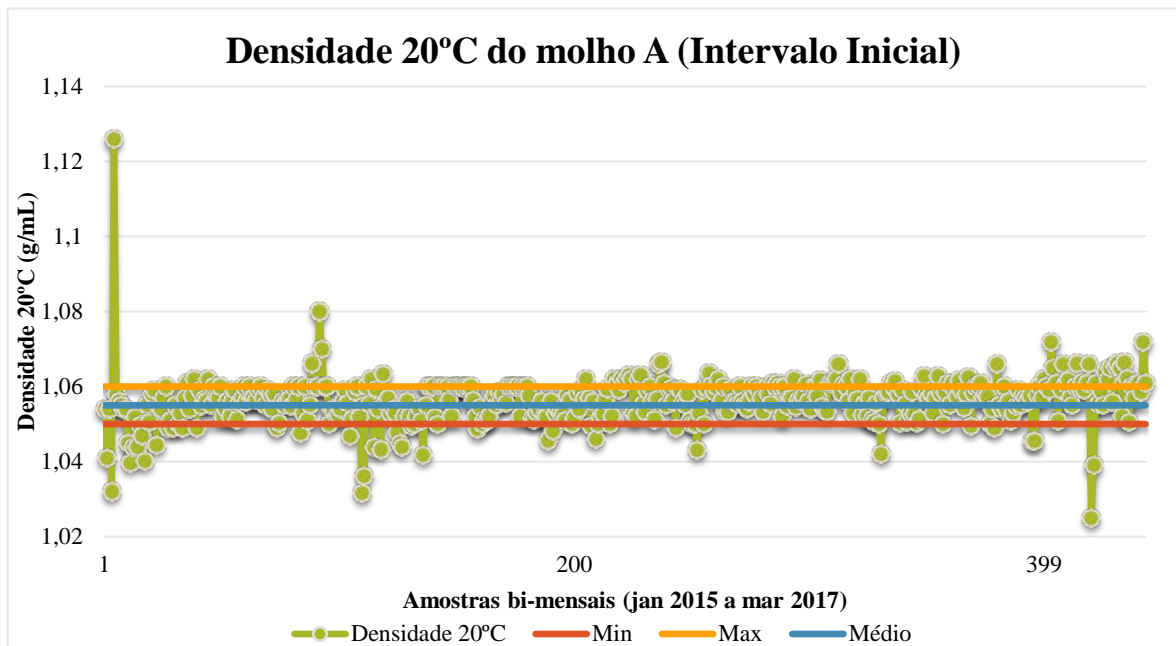


Figura I.19: Intervalo referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A estabelecido na empresa.

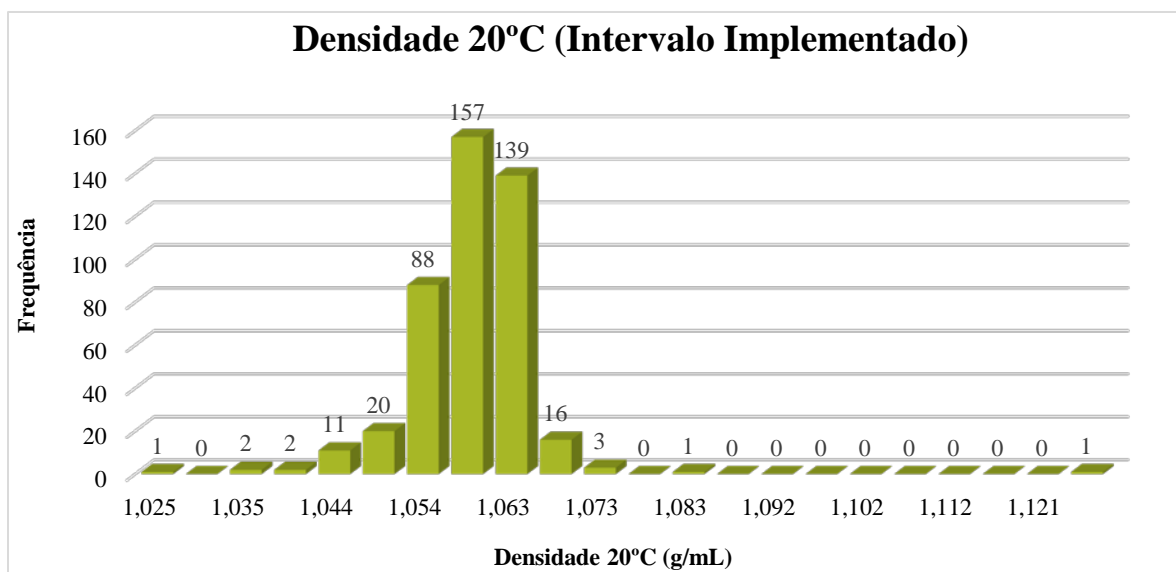


Figura I.20: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.19**.

Quadro I.8: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro densidade 20°C.

Densidade 20°C (g/mL) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Linha
Total de Observações: 427

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
1,056	1,046	0,022	1,067	5%	1%

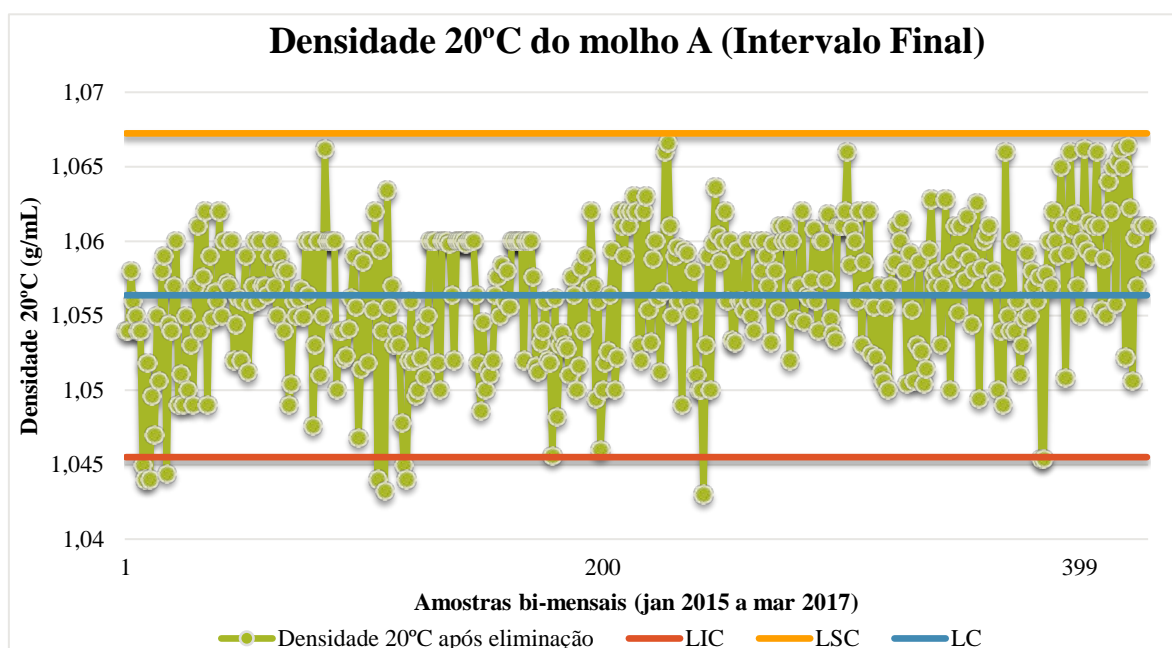


Figura I.21: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A.

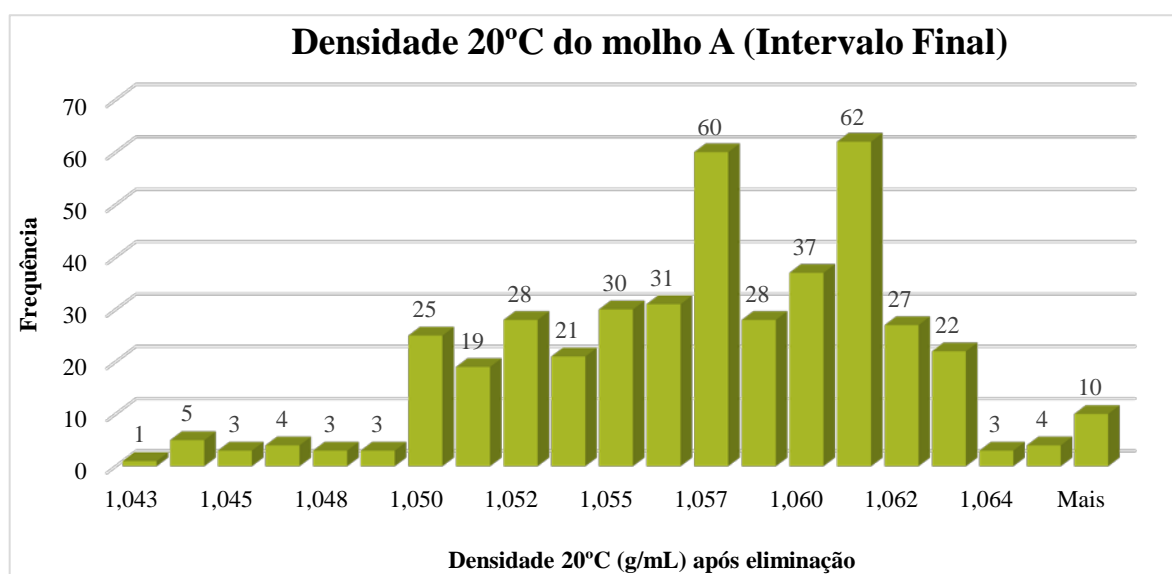


Figura I.22: Distribuição das observações por frequências da Figura I.21.

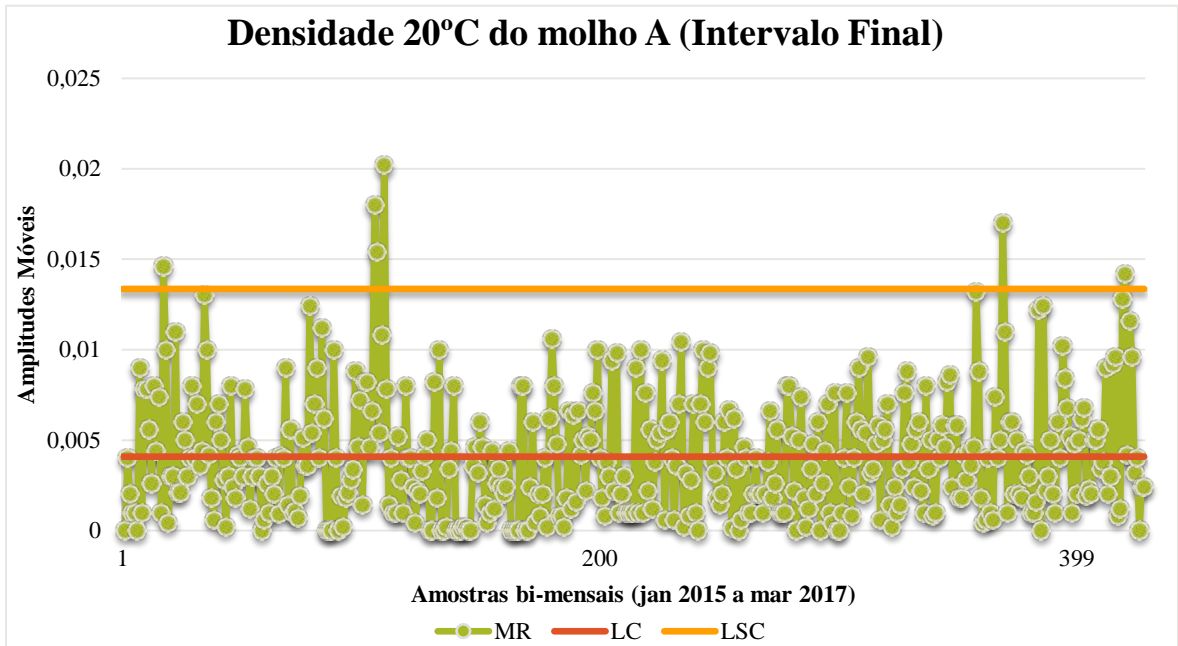


Figura I.23: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro densidade 20°C do molho A

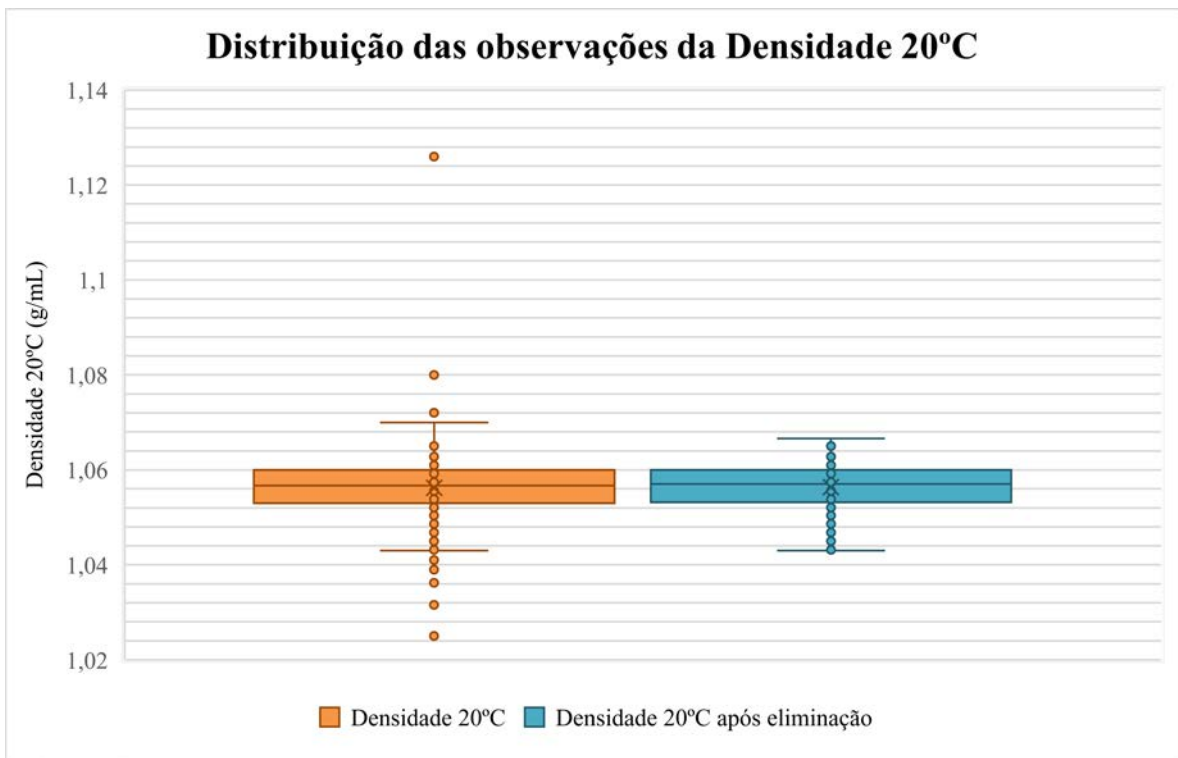


Figura I.24: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro densidade 20°C em estudo no molho A.

I.1.5 Parâmetro de qualidade 6 – Acidez

Quadro I.9: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Acidez (% ácido acético) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 903

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
0,91	0,8	0,20	1	13%	9%

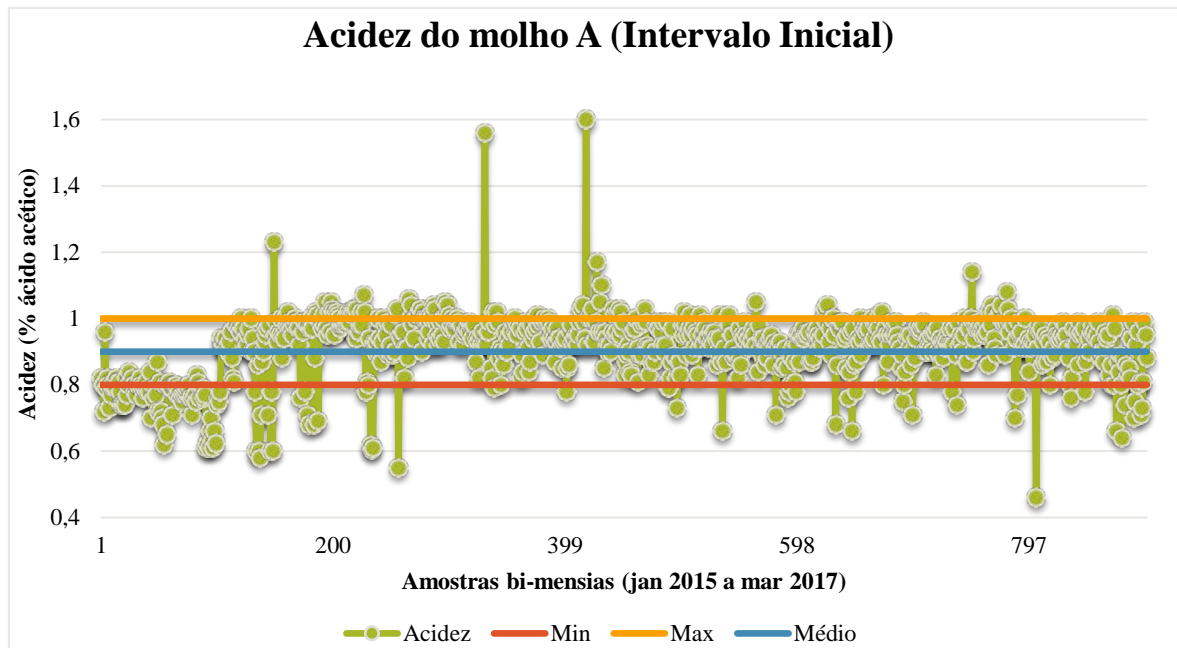


Figura I.25: Intervalo referente ao parâmetro acidez do molho A estabelecido na empresa.

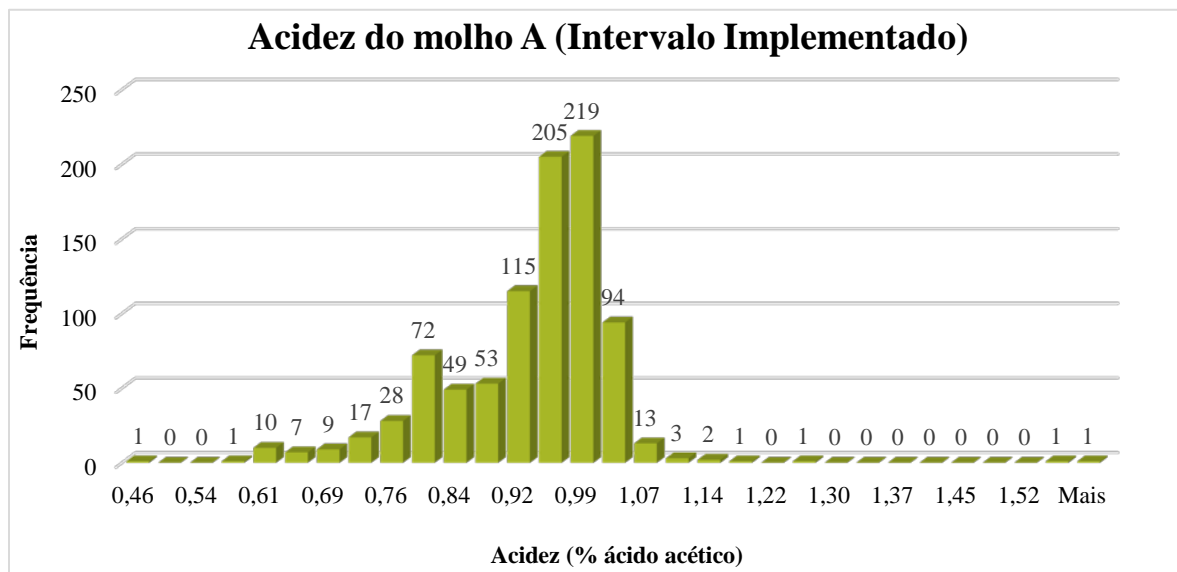


Figura I.26: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.25**.

Quadro I.10: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro acidez.

Acidez (% ácido acético) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Linha
Total de Observações: 848

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
0,92	0,79	0,26	1,05	11%	1%

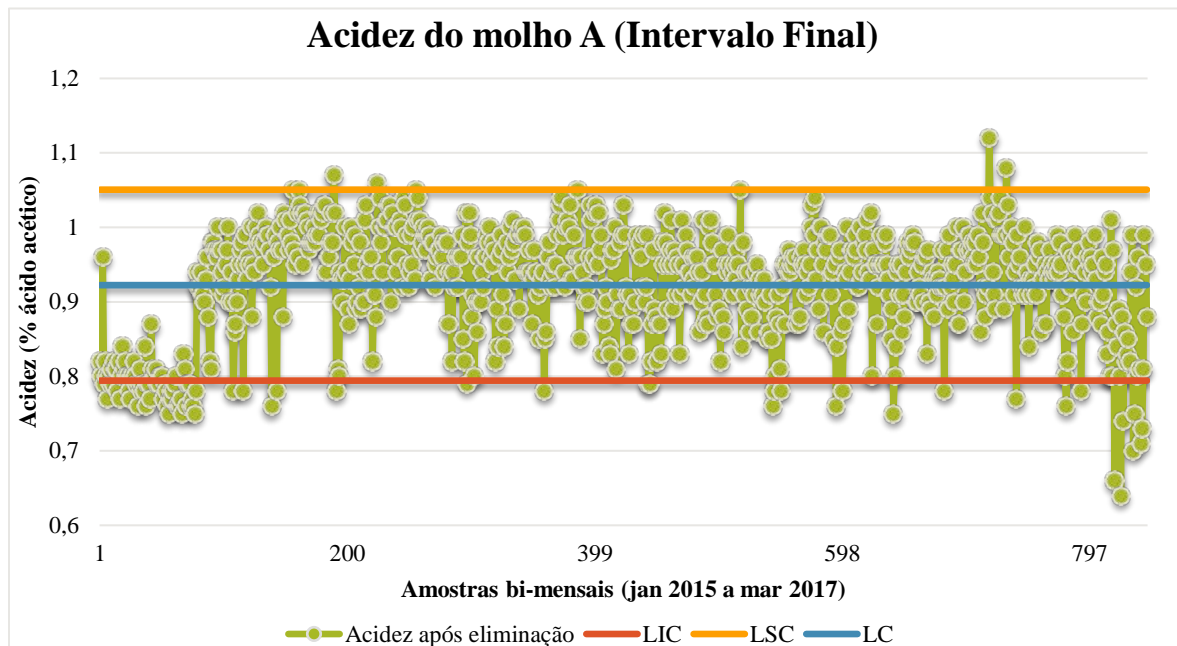


Figura I.27: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro acidez do molho A.

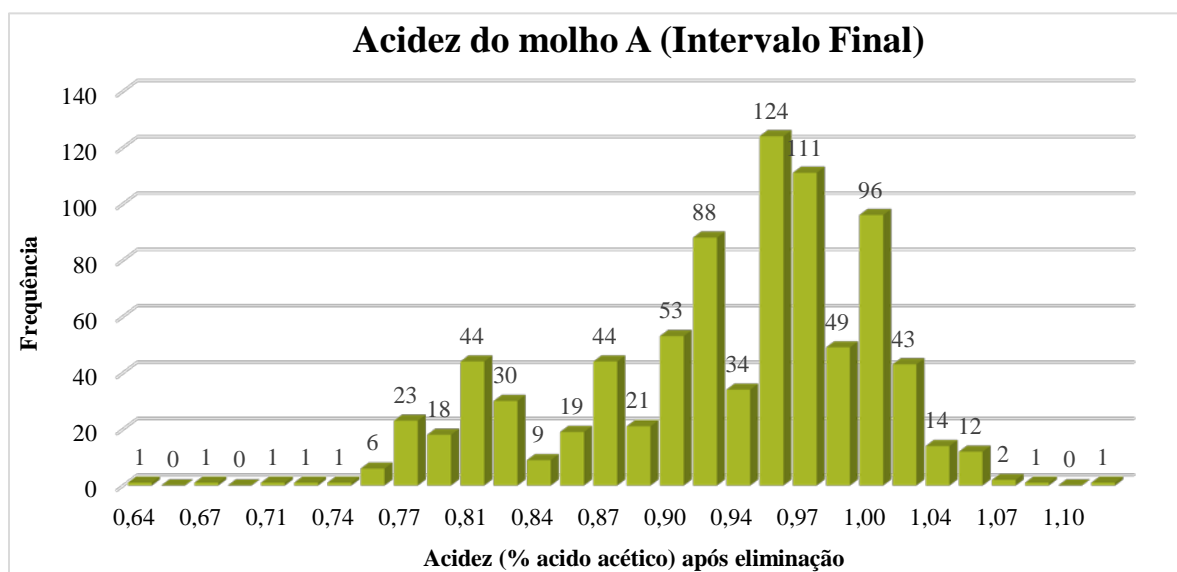


Figura I.28: Distribuição das observações por frequências da Figura I.27.

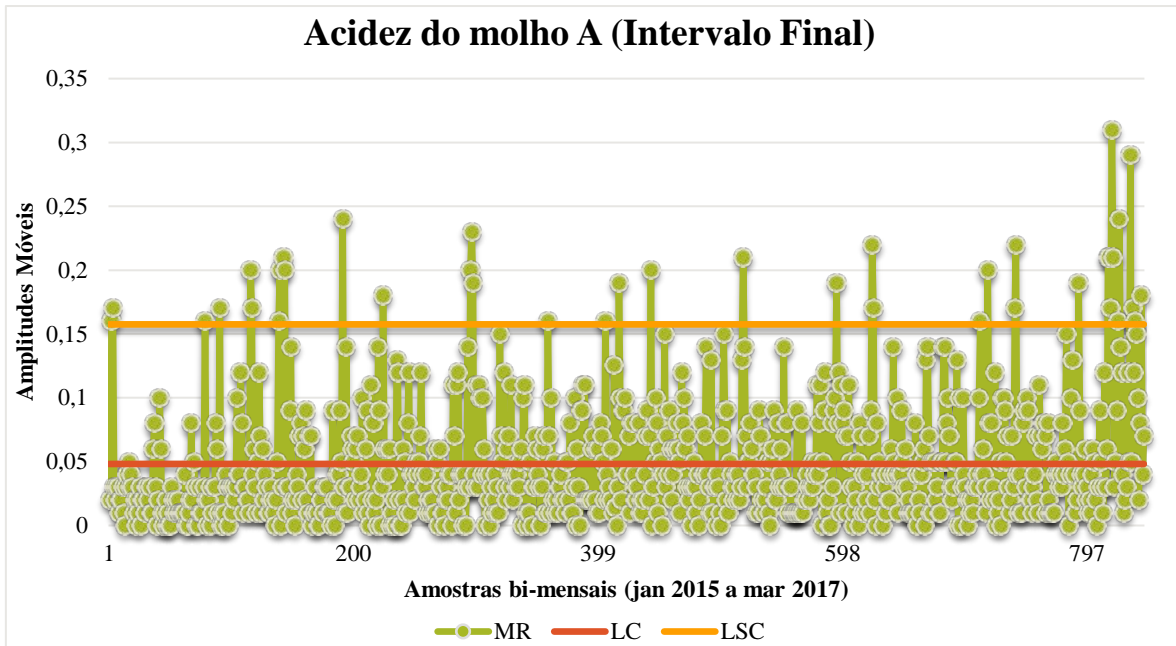


Figura I.29: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro acidez do molho A.

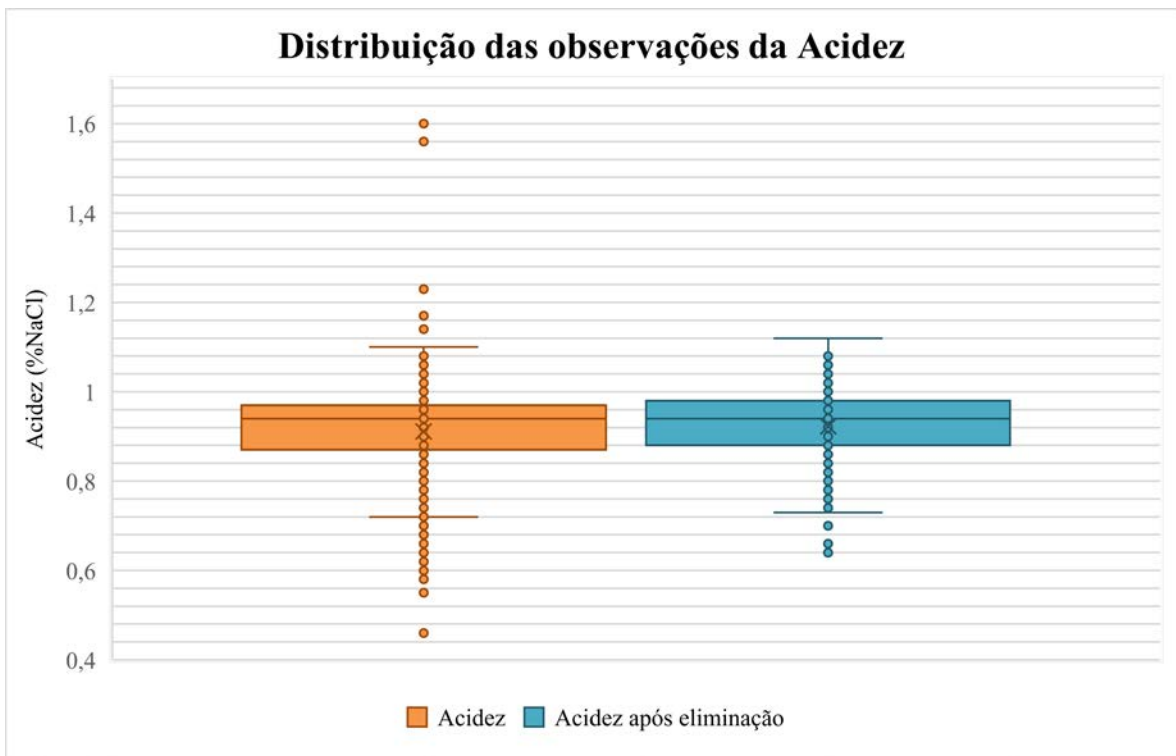


Figura I.30: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro acidez em estudo no molho A.

I.1.6 Parâmetro de qualidade 7 – Cloretos

Quadro I.11: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Cloretos (%NaCl) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 880

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
1,56	1,4	0,30	1,7	1%	1%

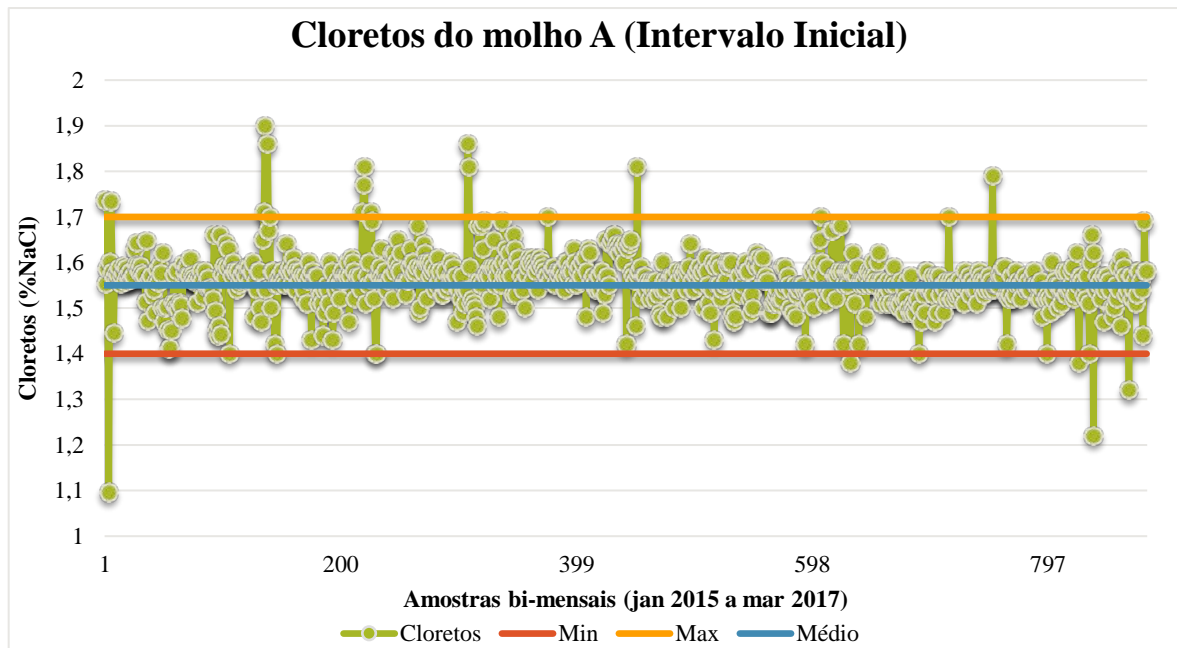


Figura I.31: Intervalo referente ao parâmetro cloretos do molho A estabelecido na empresa.

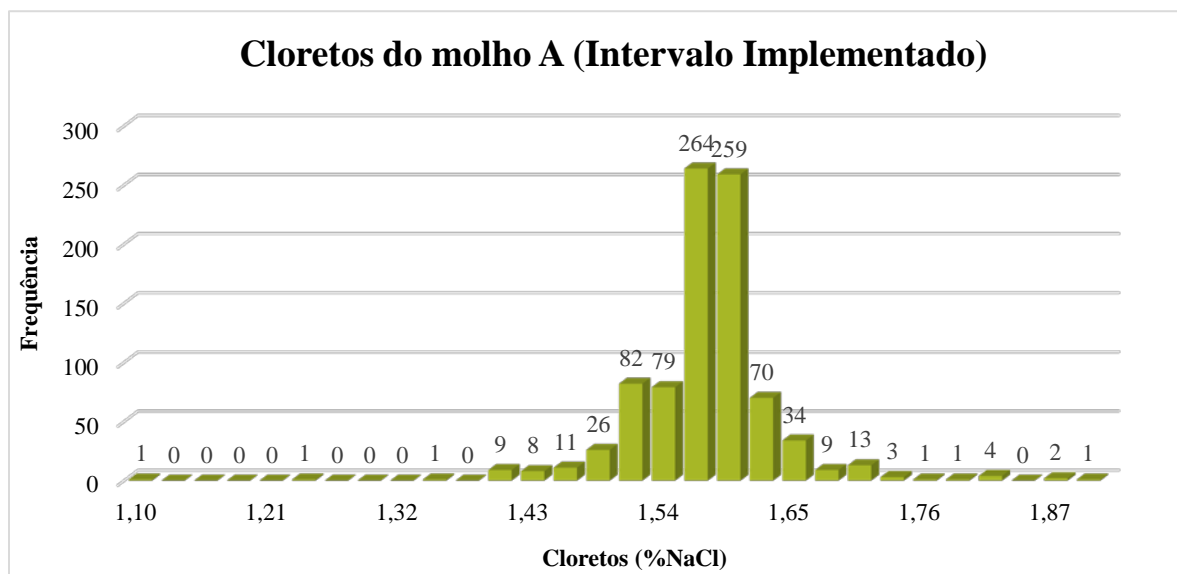


Figura I.32: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.31**.

Quadro I.12: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para o parâmetro cloretos.

Cloretos (%NaCl) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 836

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
1,56	1,47	0,18	1,65	4%	4%

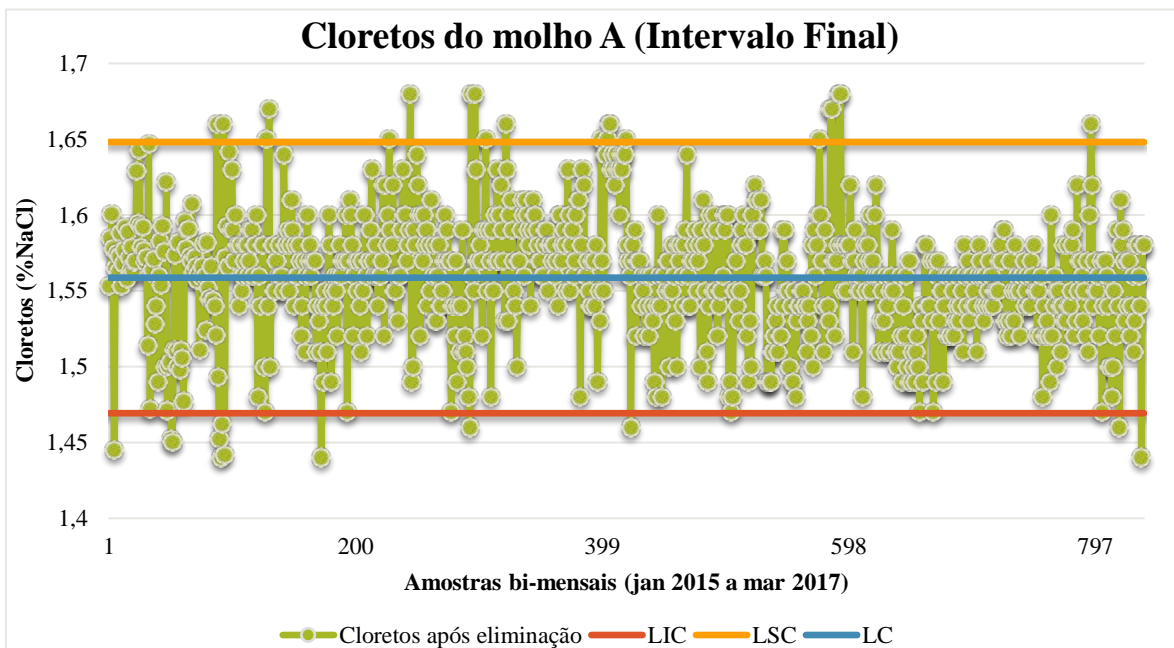


Figura I.33: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro cloretos do molho A.

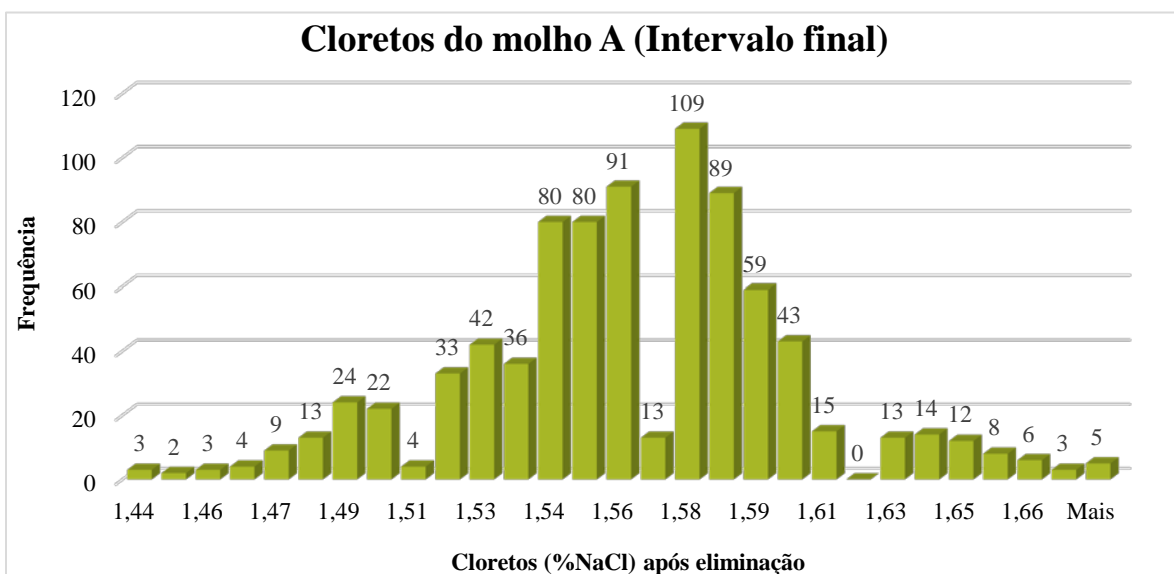


Figura I.34: Distribuição das observações por frequências da Figura I.33.

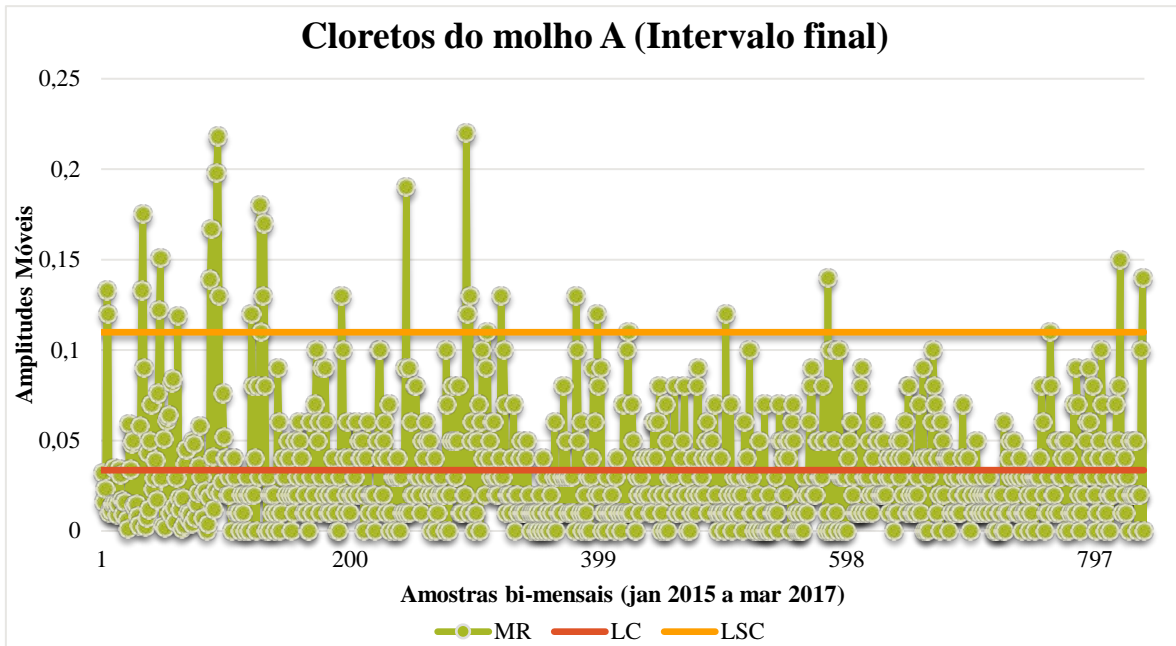


Figura I.35: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro cloretos do molho A.

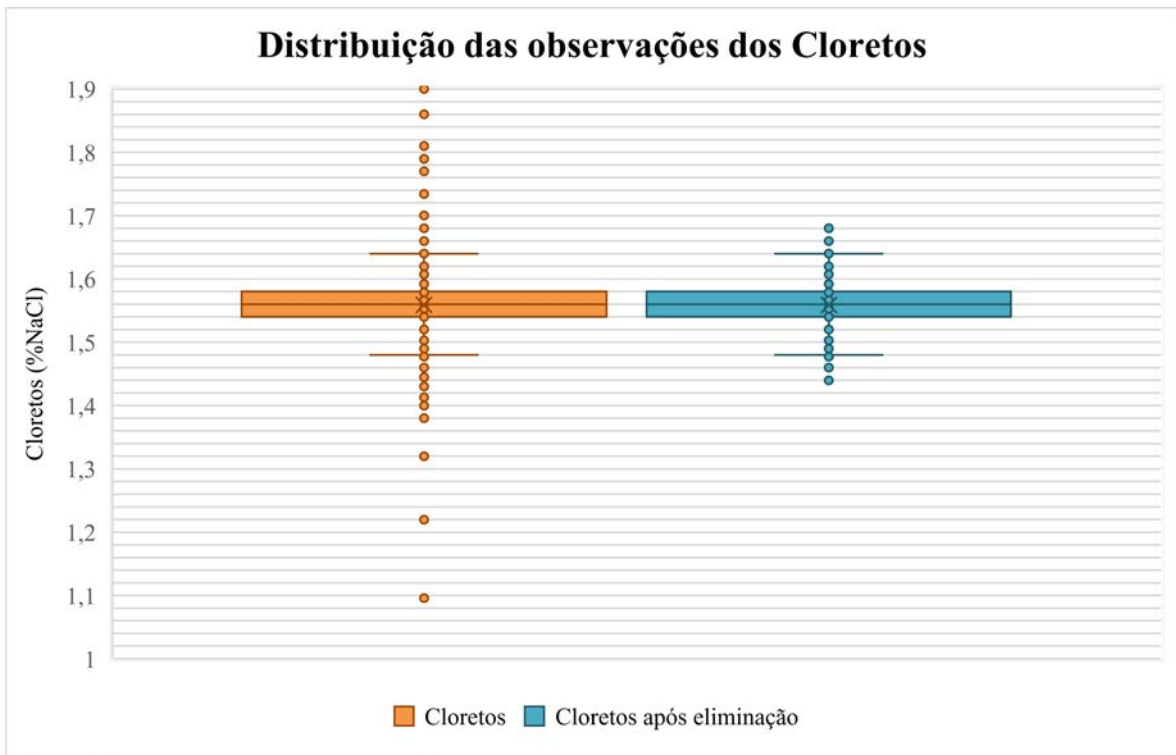


Figura I.36: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro cloretos em estudo no molho A.

I.1.7 Parâmetro de qualidade 8 – Cor CIELAB (Luminosidade)

Quadro I.13: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Luminosidade (L*) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 867

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
86	85	2	87	11%	6%

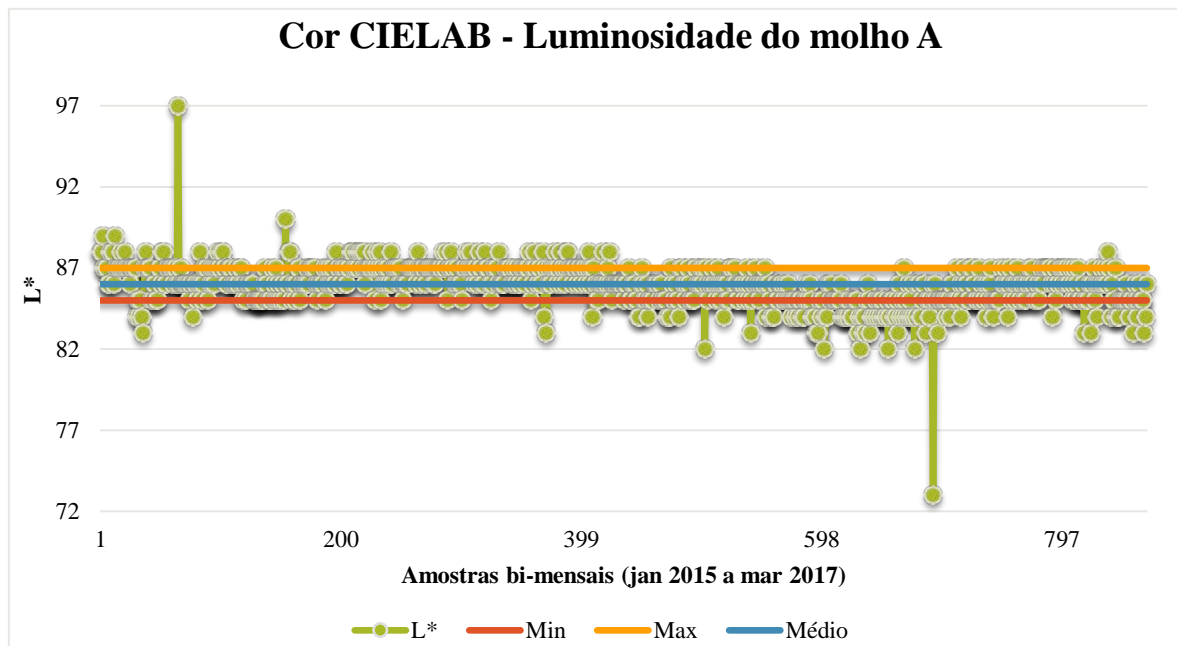


Figura I.37: Intervalo referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do molho A estabelecido na empresa.

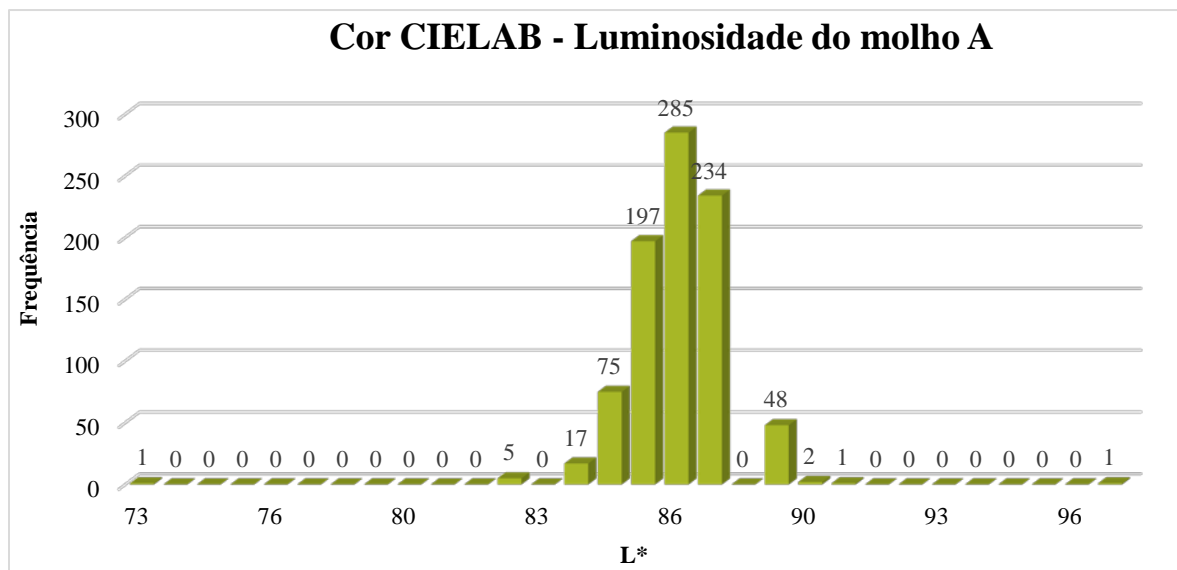


Figura I.38: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.37**.

Quadro I.14: Determinação do intervalo final após eliminação das observações para o parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB.

Luminosidade (L^*) – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 840

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
86	84	4	88	3%	0%

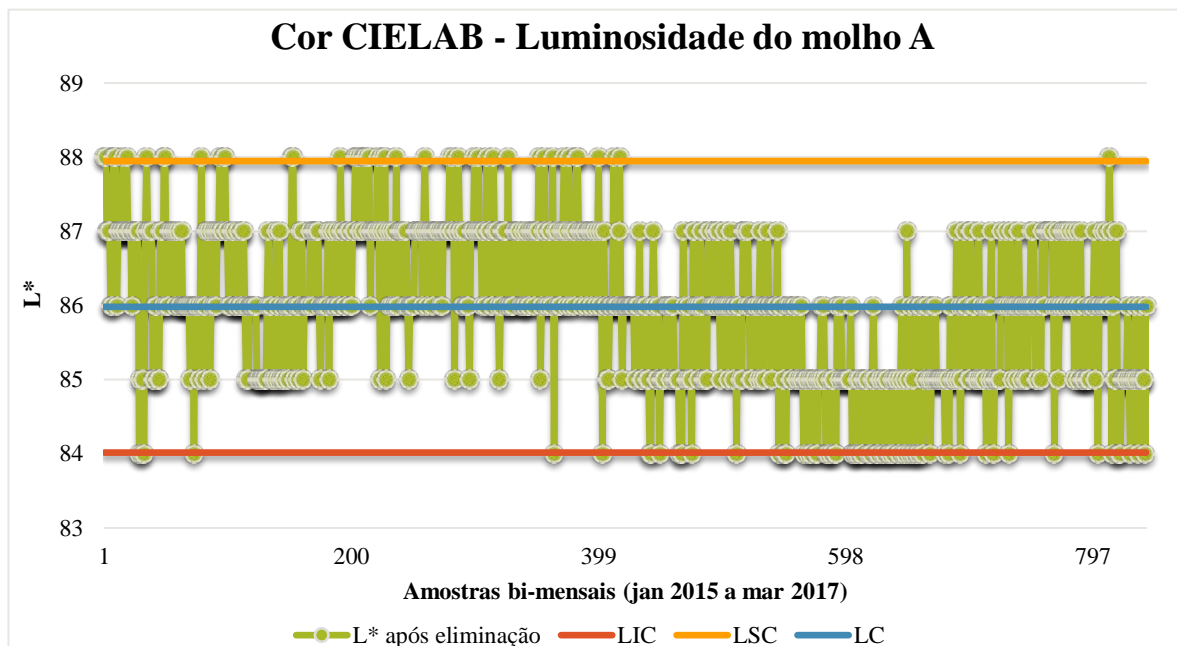


Figura I.39: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do molho A.

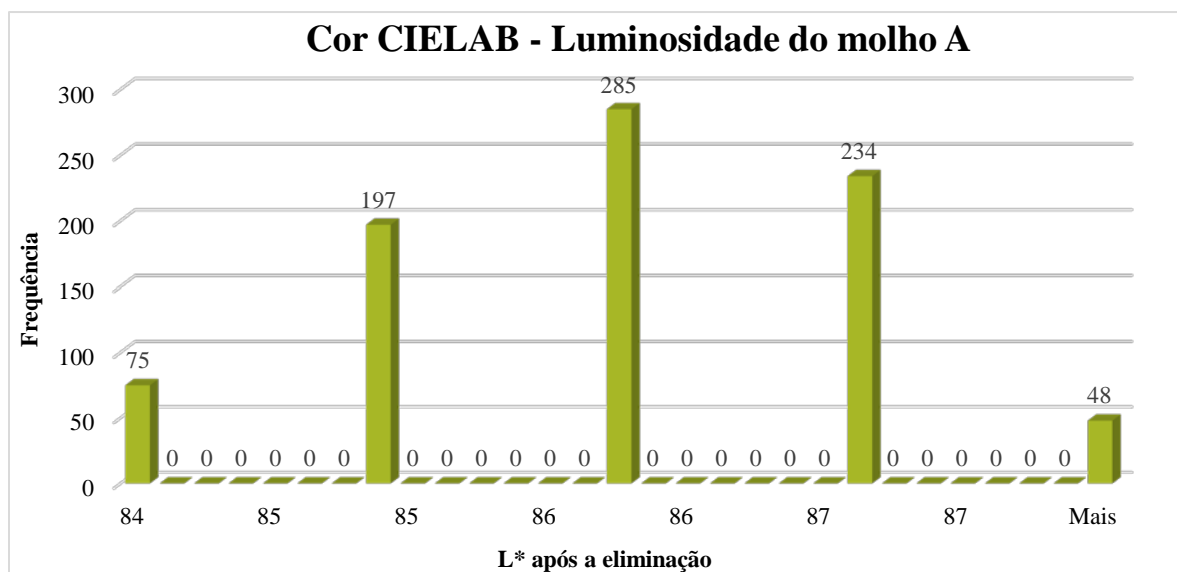


Figura I.40: Distribuição das observações por frequências da Figura I.39.

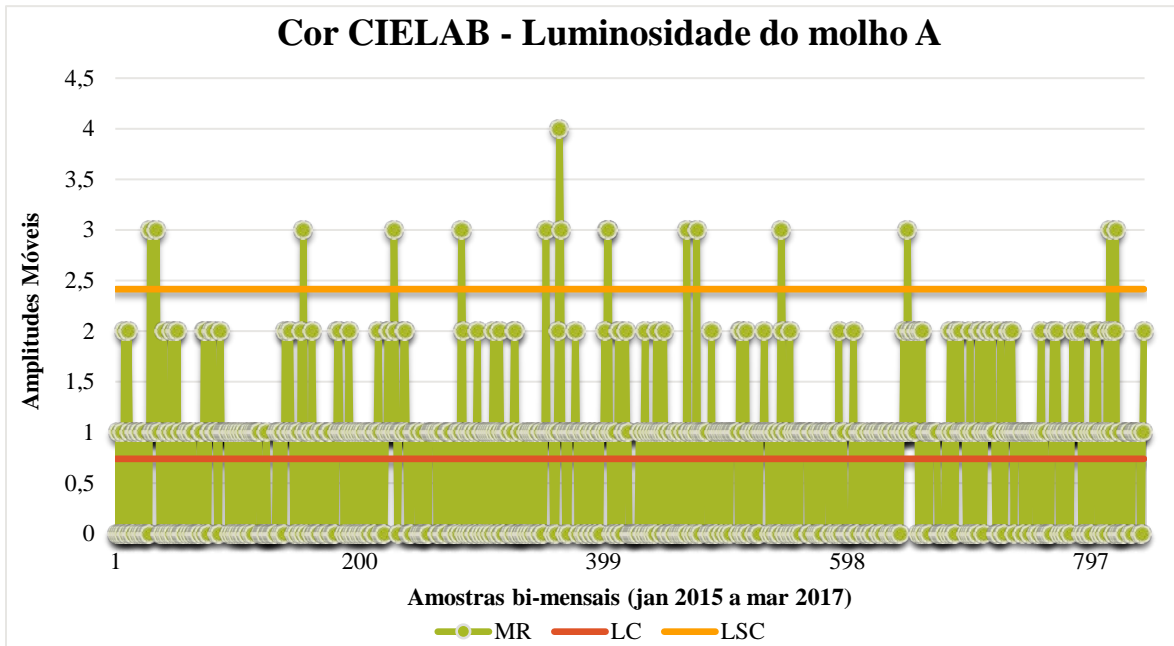


Figura I.41: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente ao parâmetro luminosidade do sistema da cor CIELAB do milho A.

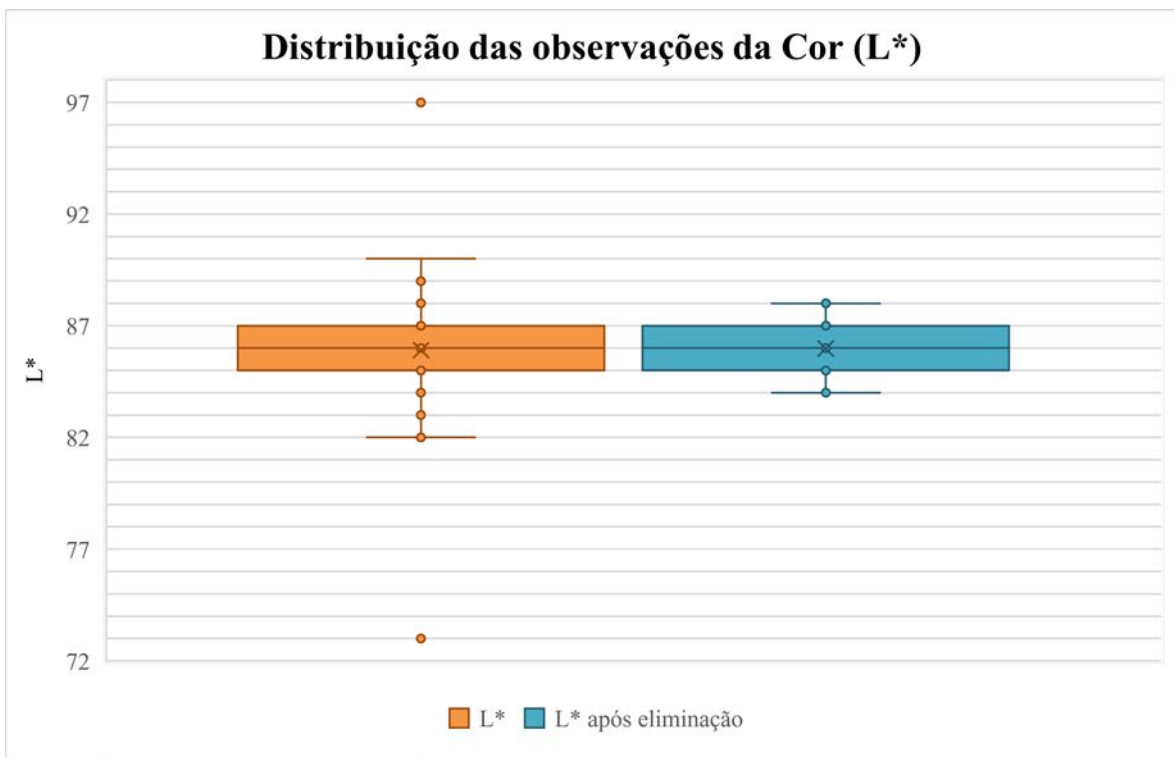


Figura I.42: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro cor L^* em estudo no milho A.

I.1.8 Parâmetro de qualidade 9 – Cor CIELAB (Coordenada a*)

Quadro I.15: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Coordenada a* – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Descarga

Total de Observações: 861

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
-3	-2	2	-4	0%	0%

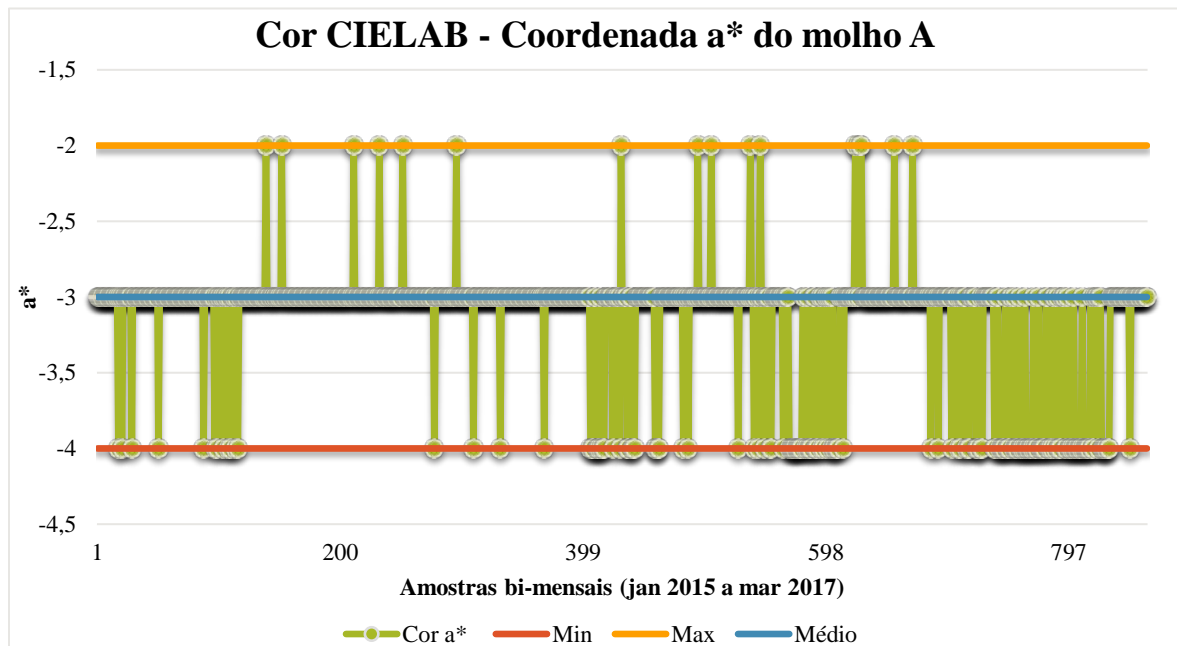


Figura I.43: Intervalo referente à coordenada da cromaticidade (a*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A estabelecido na empresa.

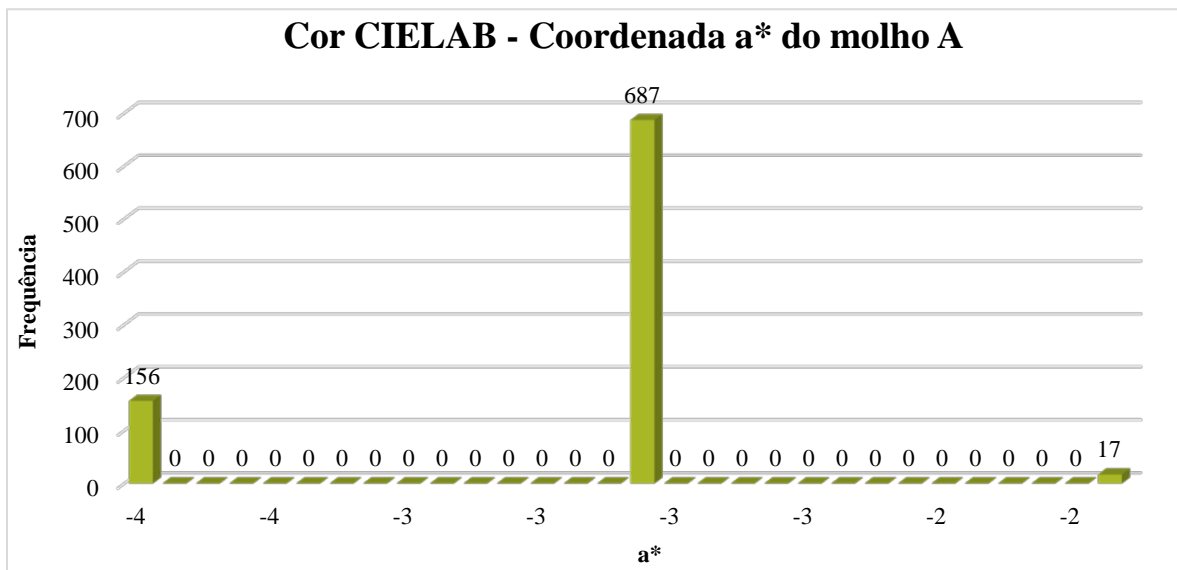


Figura I.44: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.43**.

Quadro I.16: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para a coordenada a* do sistema cor CIELAB.

Coordenada a* – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Descarga

Total de Observações: 844

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
-3	-3	0	-3	2%	18%

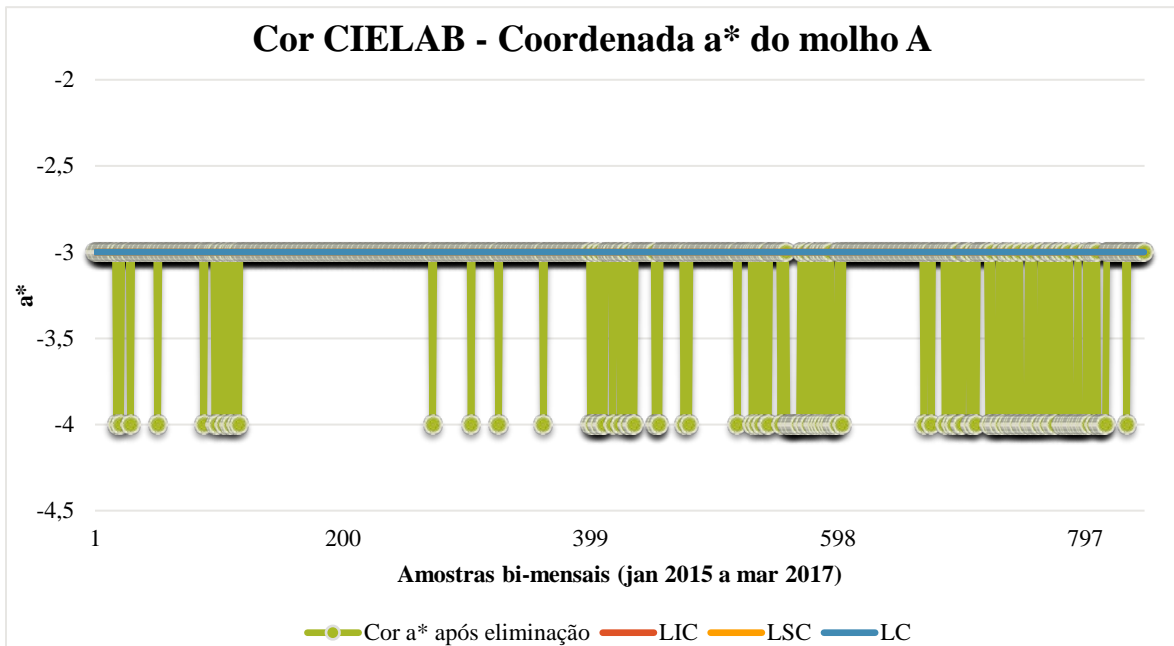


Figura I.45: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (a*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.

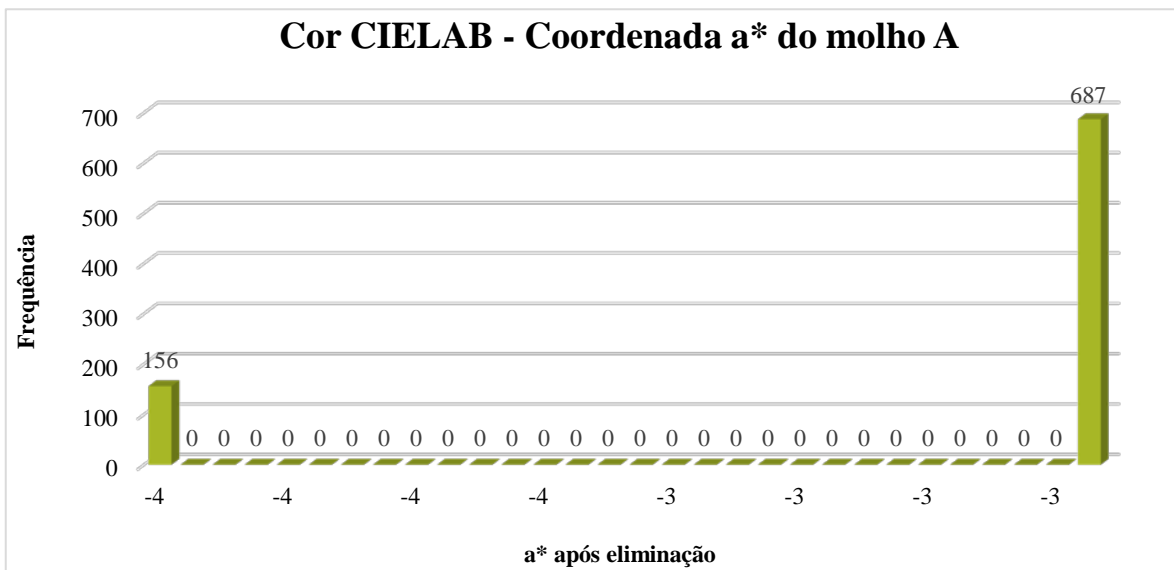


Figura I.46: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.45**.

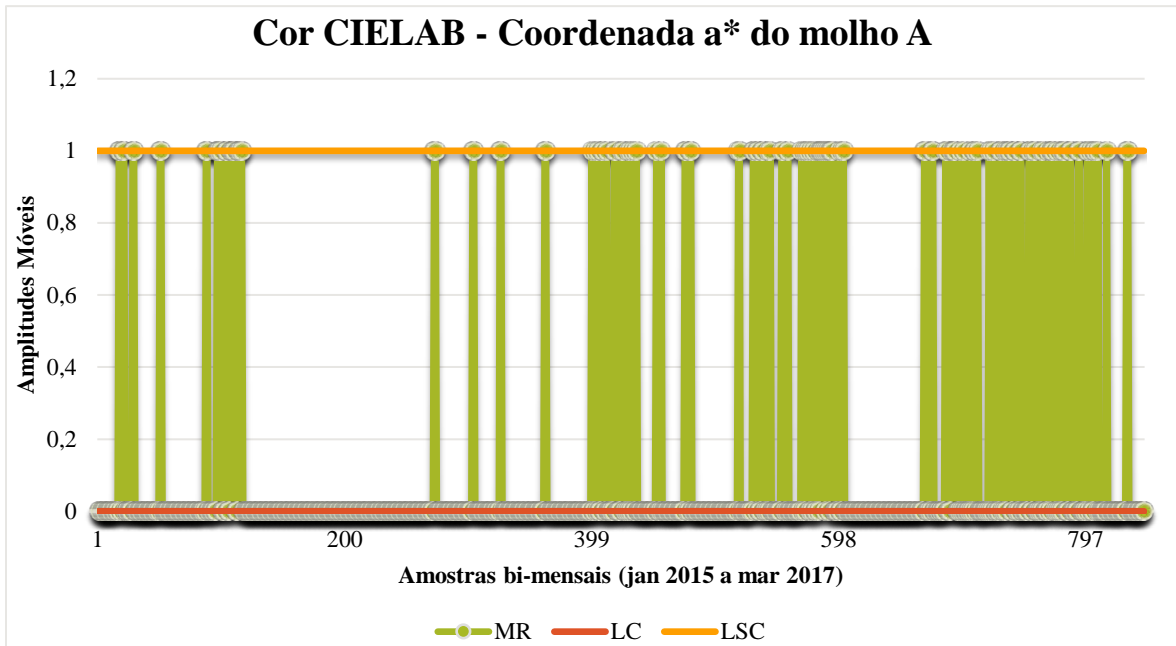


Figura I.47: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (a^*), que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.

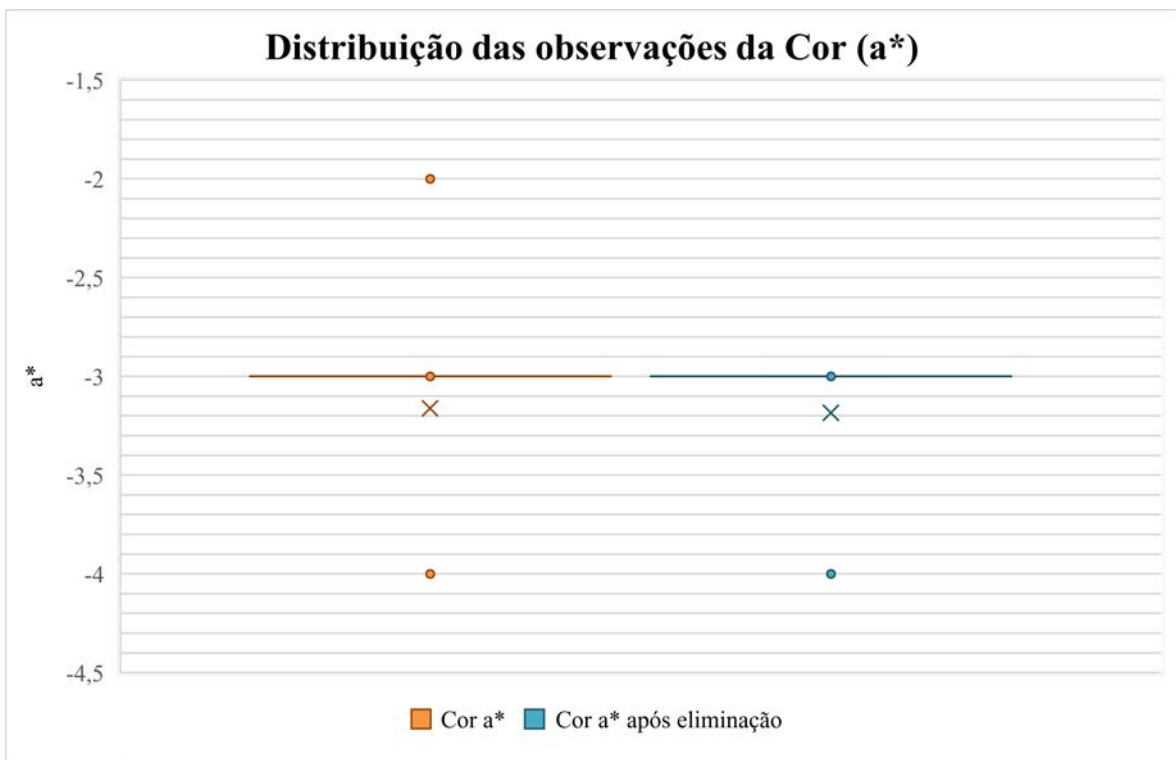


Figura I.48: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro coordenada da cromaticidade (a^*) em estudo no molho A.

I.1.9 Parâmetro de qualidade 10 – Cor CIELAB (Coordenada b*)

Quadro I.17: Informação do parâmetro de qualidade relativamente ao intervalo estabelecido na empresa.

Coordenada b* – Molho A

Período: janeiro de 2015 a março de 2017

Fase: Descarga

Total de Observações: 855

Média	Intervalo estabelecido na empresa			% Amostras	
	Limite Inferior	Amplitude	Limite Superior	Abaixo (LI)	Acima (LS)
17	16	1	17	7%	42%

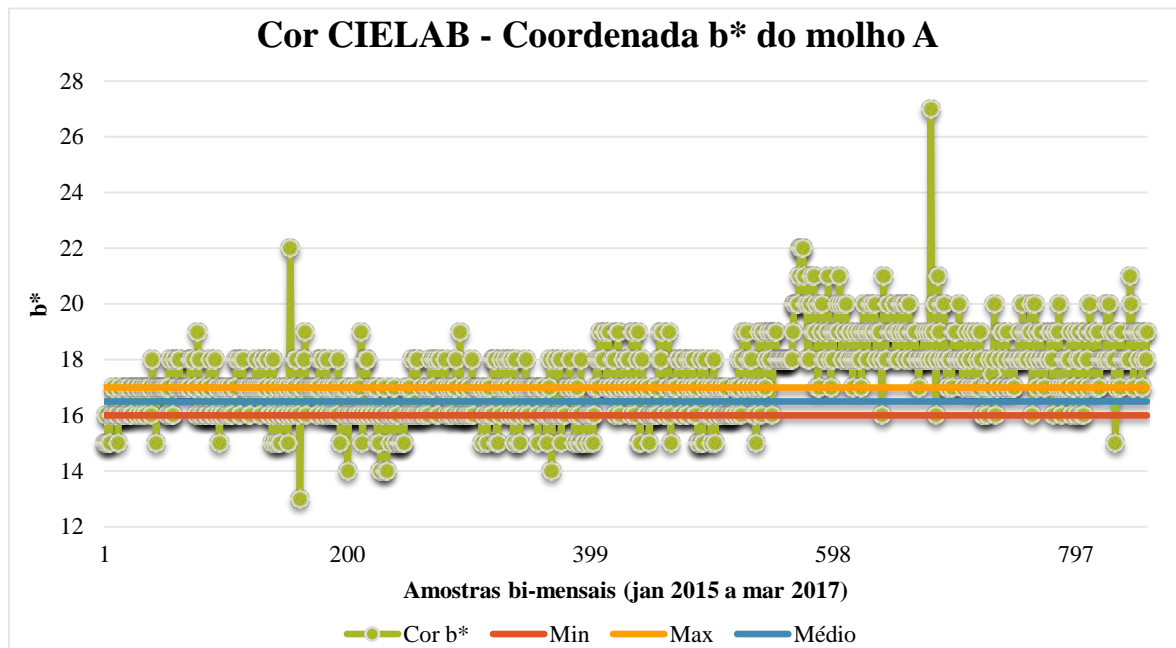


Figura I.49: Intervalo referente à coordenada da cromaticidade (b*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A estabelecido na empresa.

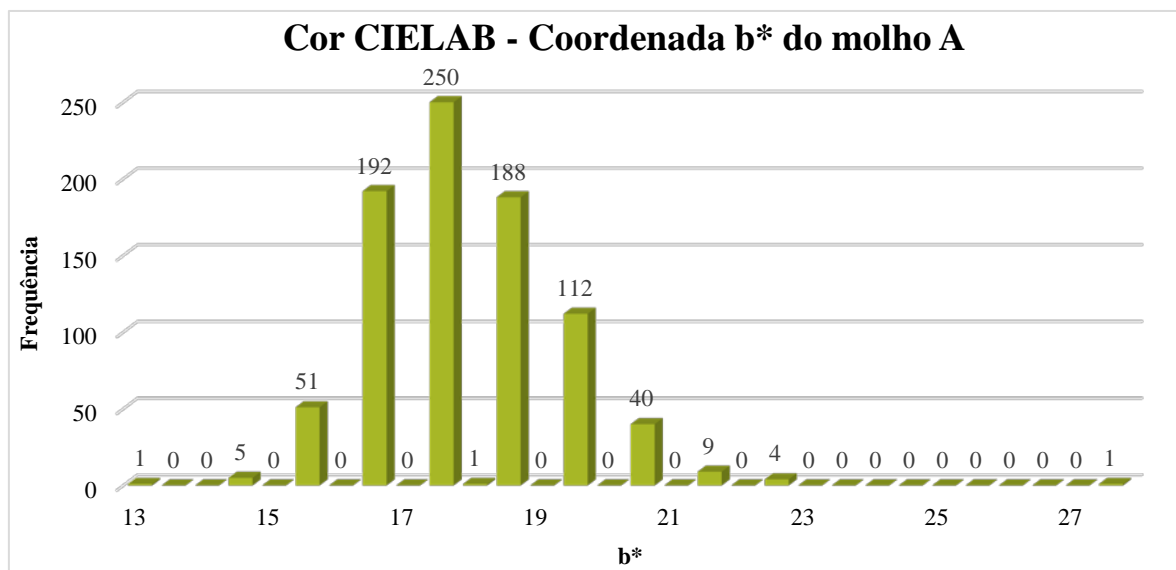


Figura I.50: Distribuição das observações por frequências da **Figura I.49**.

Quadro I.18: Determinação do intervalo final após a eliminação das observações para a coordenada b^* do sistema da cor CIELAB.

Coordenada b^* – Molho A
Período: janeiro de 2015 a março de 2017
Fase: Descarga
Total de Observações: 835

Média	Intervalo Final após a eliminação			% Amostras	
	LIC	Amplitude	LSC	Abaixo (LIC)	Acima (LSC)
17	15	5	20	1%	2%

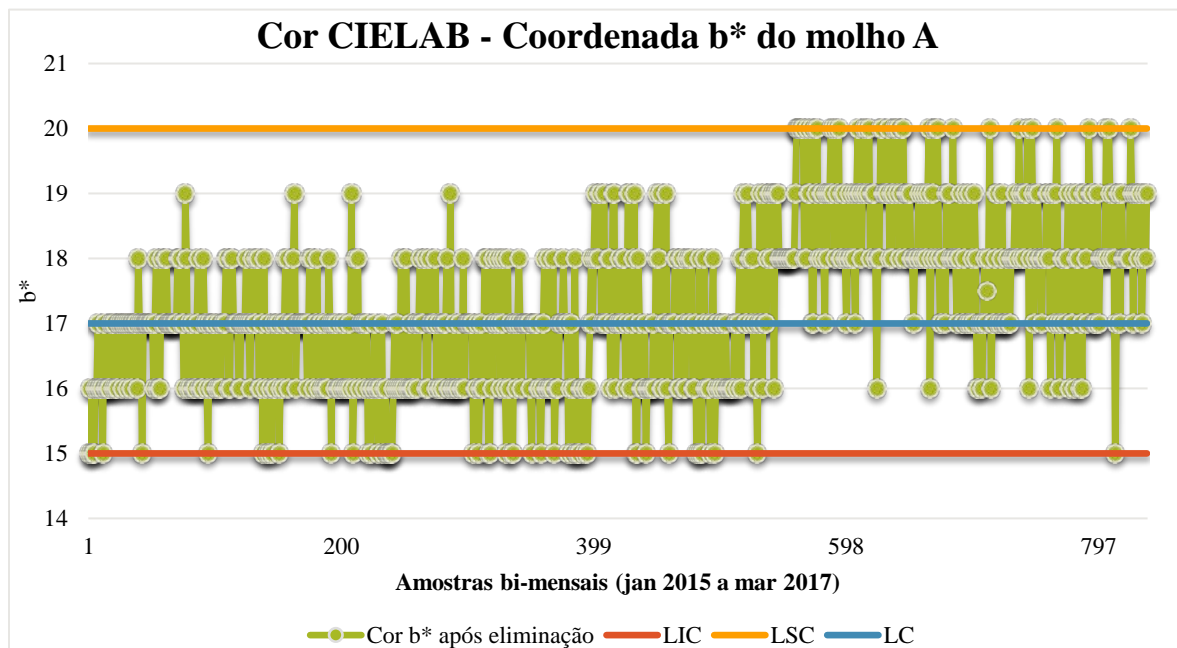


Figura I.51: Carta de observações individuais para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (b^*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.

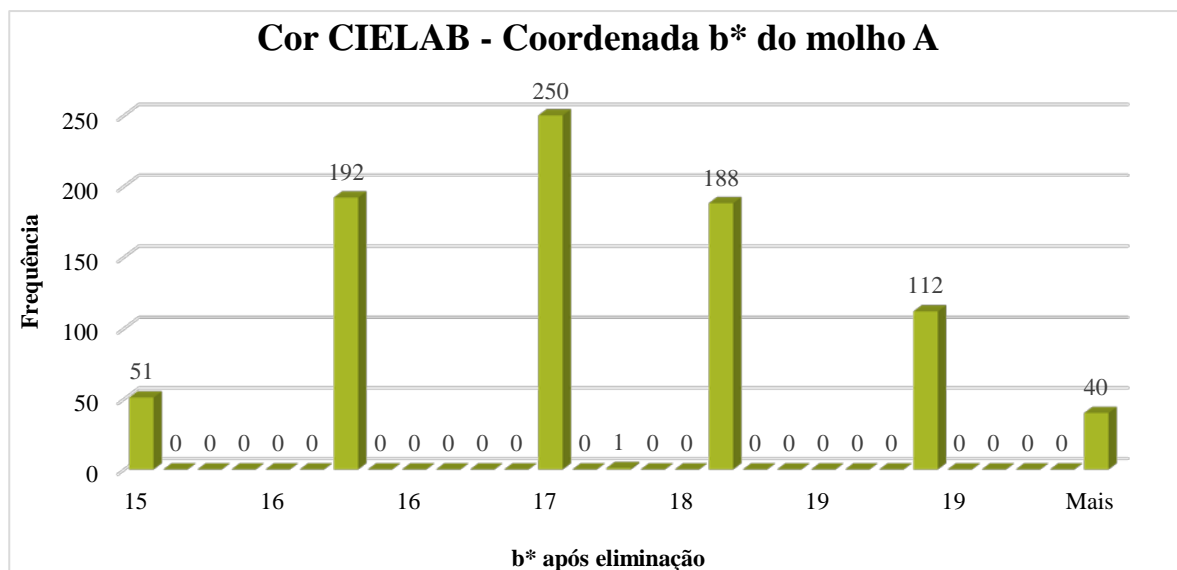


Figura I.52: Distribuição das observações por frequências da Figura I.51.

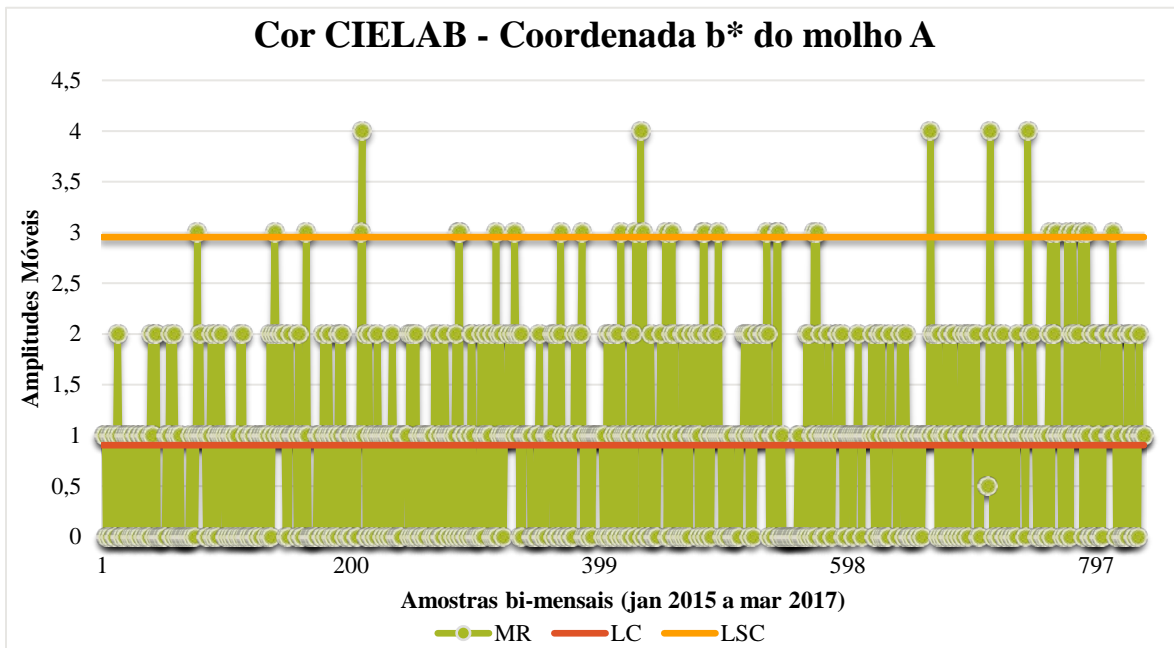


Figura I.53: Carta das amplitudes móveis para o intervalo final obtido referente à coordenada da cromaticidade (b^*), que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos, do sistema da cor CIELAB, do molho A.

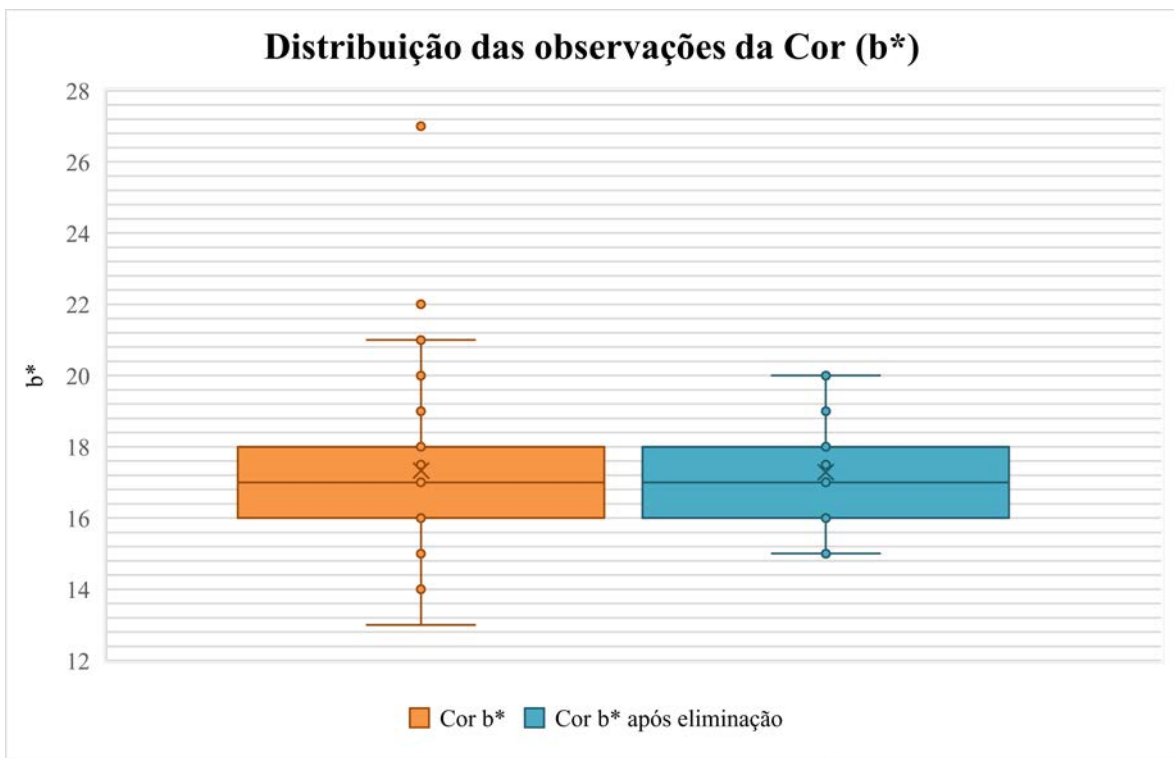


Figura I.54: Gráfico boxplot representativo de todas as observações e, das observações após eliminação referentes ao parâmetro coordenada da cromaticidade (b^*) em estudo no molho A.

I.2 Resumo dos intervalos do molho A

I.2.1 Parâmetro de qualidade 1 – pH

Quadro I.19: Informações acerca das observações do parâmetro pH.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
1140	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.20: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro pH do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
3,7	3,8	3,9	0,2	3%	0%

Quadro I.21: Intervalo final obtido para o parâmetro pH do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
3,72	3,79	3,85	0,14	7%	3%

I.2.2 Parâmetro de qualidade 2 – pH 20°C

Quadro I.22: Informações acerca das observações do parâmetro pH 20°C.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
1073	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.23: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro pH 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
3,7	3,8	3,9	0,2	28%	0%

Quadro I.24: Intervalo final obtido para o parâmetro pH 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
3,64	3,72	3,79	0,15	3%	1%

I.2.3 Parâmetro de qualidade 3 – Viscosidade

Quadro I.25: Informações acerca das observações do parâmetro viscosidade.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
1167	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.26: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro viscosidade do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
15000	20000	25000	10000	87%	0%

Quadro I.27: Intervalo final obtido para o parâmetro viscosidade no molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
11032	13390	15747	4715	12%	6%

I.2.4 Parâmetro de qualidade 4 – Viscosidade 20°C

Quadro I.28: Informações acerca das observações do parâmetro viscosidade 20°C.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
1058	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.29: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro viscosidade 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
14000	17000	20000	6000	15%	2%

Quadro I.30: Intervalo final obtido para o parâmetro viscosidade 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
13076	16206	19336	6260	9%	5%

I.2.5 Parâmetro de qualidade 5 – Densidade 20°C

Quadro I.31: Informações acerca das observações do parâmetro densidade 20°C.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
442	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.32: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro densidade 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
1,05	1,055	1,06	0,01	9%	17%

Quadro I.33: Intervalo final obtido para o parâmetro densidade 20°C do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
1,046	1,056	1,067	0,022	5%	1%

I.2.6 Parâmetro de qualidade 6 – Acidez

Quadro I.34: Informações acerca das observações do parâmetro acidez.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
903	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.35: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro acidez do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
0,8	0,9	1	0,2	13%	9%

Quadro I.36: Intervalo final obtido para o parâmetro acidez do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
0,79	0,92	1,05	0,26	11%	1%

I.2.7 Parâmetro de qualidade 7 – Cloretos

Quadro I.37: Informações acerca das observações do parâmetro cloretos.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
880	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.38: Intervalo Implementado na empresa para o parâmetro cloretos do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
1,4	1,55	1,7	0,3	1%	1%

Quadro I.39: Intervalo final obtido para o parâmetro cloretos do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
1,47	1,56	1,65	0,18	4%	4%

I.2.8 Parâmetro de qualidade 8 – Cor CIELAB (Luminosidade)

Quadro I.40: Informações acerca das observações do parâmetro luminosidade do sistema cor CIELAB.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
867	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.41: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro luminosidade do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
85	86	87	2	11%	6%

Quadro I.42: Intervalo final obtido para o parâmetro luminosidade do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
84	86	88	4	3%	0%

I.2.8 Parâmetro de qualidade 8 – Cor CIELAB (Coordenada a*)

Quadro I.43: Informações acerca das observações do parâmetro a* do sistema da cor CIELAB.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
861	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.44: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro a* do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
-4	-3	-2	2	0%	0%

Quadro I.45: Intervalo final obtido para o parâmetro a* do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
-3	-3	-3	0	18%	2%

I.2.8 Parâmetro de qualidade 8 – Cor CIELAB (Coordenada b*)

Quadro I.46: Informações acerca das observações do parâmetro b* do sistema da cor CIELAB.

Nº Total de Amostras	Data Inicial	Data Final
855	janeiro de 2015	março de 2017

Quadro I.47: Intervalo implementado na empresa para o parâmetro b* do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
16	16,5	17	1	7%	42%

Quadro I.48: Intervalo final obtido para o parâmetro b* do molho A.

Intervalo Implementado				%Amostras	
Mínimo	Média	Máximo	Amplitude	Abaixo	Acima
15	17	20	5	1%	2%

Legenda:

 Intervalo sujeito a alteração

 Sugestão de um novo intervalo ajustado à realidade

Anexo I – Tabelas

Anexo II – Tabelas para a construção das cartas $WV\bar{X}$ e WVR

Anexo I – Tabelas

- Tabelas dos fatores para a construção das cartas de controlo de varáveis

I.1 Fatores de construção para as cartas de controlo de variáveis

Tabela I.1: Constantes para a construção das cartas de controlo de variáveis (Pereira & Requeijo, 2012).

Dimensão Amostra	Carta da Média					Carta do Desvio Padrão					Carta da Amplitude							
	Factores Limites Controlo		Factores Linha Central			Factores para Limites de Controlo			Factores para Limites de Controlo		Factores para Limites de Controlo			Factores para Limites de Controlo		Factores para Limites de Controlo		
	A	A ₂	A ₃	d ₂	c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄				
2	2,121	1,881	2,659	1,128	0,7979	0	3,267	0	2,606	0,853	0	3,686	0	3,267				
3	1,732	1,023	1,954	1,693	0,8862	0	2,568	0	2,276	0,888	0	4,358	0	2,574				
4	1,500	0,729	1,628	2,059	0,9213	0	2,266	0	2,088	0,880	0	4,698	0	2,282				
5	1,342	0,577	1,427	2,326	0,9400	0	2,089	0	1,964	0,864	0	4,918	0	2,114				
6	1,225	0,483	1,287	2,534	0,9515	0,030	1,970	0,029	1,874	0,848	0	5,078	0	2,004				
7	1,134	0,419	1,182	2,704	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924				
8	1,061	0,373	1,099	2,847	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864				
9	1,000	0,337	1,032	2,970	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816				
10	0,949	0,308	0,975	3,078	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777				
11	0,905	0,285	0,927	3,173	0,9754	0,321	1,679	0,313	1,637	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744				
12	0,866	0,266	0,886	3,258	0,9776	0,354	1,646	0,346	1,610	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717				
13	0,832	0,249	0,850	3,336	0,9794	0,382	1,618	0,374	1,585	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693				
14	0,802	0,235	0,817	3,407	0,9810	0,406	1,594	0,399	1,563	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672				
15	0,775	0,223	0,789	3,472	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653				
16	0,750	0,212	0,763	3,532	0,9835	0,448	1,552	0,440	1,526	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637				
17	0,728	0,203	0,739	3,588	0,9845	0,466	1,534	0,458	1,511	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622				
18	0,707	0,194	0,718	3,640	0,9854	0,482	1,518	0,475	1,496	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608				
19	0,688	0,187	0,698	3,689	0,9862	0,497	1,503	0,490	1,483	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597				
20	0,671	0,180	0,680	3,735	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585				
21	0,655	0,173	0,663	3,778	0,9876	0,523	1,477	0,516	1,459	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575				
22	0,640	0,167	0,647	3,819	0,9882	0,534	1,466	0,528	1,448	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566				
23	0,626	0,162	0,633	3,858	0,9887	0,545	1,455	0,539	1,438	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557				
24	0,612	0,157	0,619	3,895	0,9892	0,555	1,445	0,549	1,429	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548				
25	0,600	0,153	0,606	3,931	0,9896	0,565	1,435	0,559	1,420	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541				

Para $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad B_3 = 1 - \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_4 = 1 + \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2} \quad B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$$

Anexo II - Tabelas para a construção das cartas $WV\bar{X}$ e WVR

- Tabela que fornece as constantes W_L e W_U para a carta $WV\bar{X}$
- Tabela que fornece as constantes V_L e V_U para a carta WVR

II.1 - Fatores de construção para a carta da média e da amplitude pelo método da WV

Tabela II.1: Constantes W_L e W_U para a carta $WV\bar{X}$ (Bai & Choi, 1995).

P_X	$n = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
(a) W_L												
0.50	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31	0.22	0.18	0.15
0.52	1.86	1.01	0.72	0.57	0.48	0.41	0.37	0.33	0.30	0.22	0.18	0.15
0.54	1.83	0.99	0.71	0.56	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.22	0.18	0.15
0.56	1.81	0.98	0.70	0.56	0.47	0.40	0.36	0.32	0.30	0.21	0.17	0.14
0.58	1.82	0.97	0.70	0.56	0.46	0.40	0.35	0.32	0.30	0.21	0.17	0.14
0.60	1.84	0.99	0.71	0.56	0.46	0.40	0.35	0.32	0.29	0.21	0.17	0.14
0.62	1.85	1.00	0.71	0.56	0.46	0.40	0.35	0.32	0.29	0.21	0.17	0.13
0.64	1.89	1.02	0.72	0.57	0.47	0.40	0.35	0.32	0.29	0.20	0.16	0.13
0.66	1.96	1.08	0.75	0.58	0.48	0.42	0.37	0.32	0.29	0.20	0.16	0.13
0.68	2.04	1.09	0.77	0.61	0.49	0.42	0.37	0.32	0.29	0.20	0.16	0.13
0.70	2.13	1.17	0.81	0.65	0.50	0.43	0.36	0.32	0.29	0.20	0.15	0.13
(b) W_U												
0.50	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31	0.22	0.18	0.15
0.52	1.93	1.05	0.75	0.59	0.50	0.43	0.38	0.34	0.32	0.23	0.18	0.16
0.54	1.97	1.08	0.77	0.61	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.23	0.19	0.16
0.56	2.04	1.11	0.79	0.63	0.52	0.45	0.40	0.37	0.33	0.24	0.19	0.16
0.58	2.14	1.14	0.82	0.65	0.54	0.47	0.42	0.38	0.35	0.25	0.20	0.17
0.60	2.26	1.22	0.86	0.68	0.56	0.49	0.43	0.39	0.36	0.25	0.20	0.17
0.62	2.36	1.28	0.91	0.71	0.59	0.51	0.45	0.41	0.37	0.26	0.21	0.17
0.64	2.53	1.36	0.96	0.76	0.63	0.54	0.47	0.43	0.39	0.27	0.21	0.18
0.66	2.74	1.49	1.04	0.81	0.67	0.58	0.51	0.45	0.41	0.28	0.22	0.18
0.68	2.98	1.59	1.12	0.88	0.71	0.61	0.54	0.47	0.42	0.29	0.23	0.19
0.70	3.26	1.78	1.23	0.99	0.72	0.62	0.55	0.50	0.44	0.30	0.24	0.19

Tabela II.2: Constantes V_L e V_U para a carta WVR (Bai & Choi, 1995).

P_X	$n = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
(a) V_L												
0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.06
0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.20
0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.10	0.24	0.31	0.37
0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.13	0.18	0.30	0.38	0.43
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	0.18	0.22	0.35	0.42	0.46
0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	0.17	0.21	0.33	0.41	0.45
0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.12	0.17	0.30	0.37	0.41
0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.07	0.22	0.29	0.34
0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15	0.20	0.25
0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.13
0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(b) V_U												
0.30	4.47	3.89	3.58	3.52	3.10	2.97	2.95	2.84	2.71	2.60	2.52	2.43
0.32	4.24	3.49	3.25	3.16	2.91	2.79	2.75	2.66	2.57	2.49	2.38	2.31
0.34	4.03	3.27	3.01	2.81	2.72	2.64	2.57	2.54	2.45	2.37	2.24	2.20
0.36	3.79	3.07	2.82	2.63	2.52	2.44	2.38	2.35	2.33	2.24	2.14	2.07
0.38	3.58	2.94	2.67	2.51	2.40	2.32	2.27	2.23	2.19	2.08	2.04	1.97
0.40	3.49	2.82	2.53	2.39	2.27	2.21	2.15	2.12	2.09	1.94	1.92	1.87
0.42	3.37	2.67	2.43	2.29	2.18	2.10	2.04	2.02	1.98	1.85	1.80	1.75
0.44	3.28	2.62	2.32	2.23	2.12	2.04	1.99	1.96	1.93	1.78	1.71	1.66
0.46	3.26	2.59	2.30	2.15	2.04	1.96	1.90	1.86	1.83	1.70	1.63	1.59
0.48	3.25	2.58	2.28	2.13	2.00	1.92	1.86	1.82	1.79	1.67	1.60	1.55
0.50	3.25	2.58	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78	1.65	1.59	1.54
0.52	3.34	2.64	2.33	2.18	2.04	1.96	1.90	1.86	1.82	1.70	1.62	1.57
0.54	3.43	2.72	2.41	2.25	2.12	2.04	1.97	1.94	1.90	1.76	1.69	1.63
0.56	3.58	2.83	2.49	2.38	2.26	2.18	2.11	2.09	2.05	1.88	1.80	1.75
0.58	3.79	2.96	2.67	2.52	2.38	2.30	2.23	2.19	2.16	2.00	1.94	1.88
0.60	4.06	3.23	2.87	2.70	2.56	2.48	2.41	2.37	2.33	2.15	2.12	2.06
0.62	4.30	3.48	3.14	2.93	2.79	2.69	2.62	2.58	2.52	2.39	2.33	2.25
0.64	4.72	3.76	3.43	3.18	3.03	2.92	2.84	2.80	2.77	2.65	2.52	2.43
0.66	5.23	4.16	3.80	3.52	3.39	3.28	3.19	3.15	3.12	2.90	2.73	2.67
0.68	5.71	4.64	4.27	4.02	3.99	3.62	3.56	3.42	3.39	3.17	3.02	2.91
0.70	6.10	5.41	4.94	4.66	4.21	4.01	3.97	3.81	3.71	3.44	3.32	3.18

