

Controlo Estatístico de Processo na Indústria da Cortiça

Damião Fernando Rocha Moreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Maria Henriqueta Sampaio da Nóvoa

Orientador na Empresa: Eng. ^a Ana Cristina Teixeira



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-06-26

“Well done is better than well said.”

Benjamin Franklin

Resumo

O grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A., é uma das principais empresas portuguesas e líder mundial no setor da cortiça. Esta liderança do mercado deve-se, entre outros fatores, à qualidade dos seus produtos. De modo a garantir os níveis de qualidade esperados e a estabilidade dos processos produtivos, a Amorim Cork recorre ao controlo estatístico de processo. A empresa tomou a decisão de substituir o software de controlo estatístico de processo, em utilização há muitos anos, com o propósito de assegurar um controlo estatístico mais eficaz, através da obtenção de dados fiáveis.

Este projeto teve dois objetivos principais: a construção de uma metodologia para a implementação do novo software de controlo estatístico e a análise crítica dos procedimentos de controlo estatístico de processo aplicados na fábrica de rolhas microaglomeradas do grupo, denominada DeSousa.

Por um lado, tendo por base o enquadramento teórico apresentado, construiu-se de raiz uma metodologia para a implementação de um software de controlo estatístico de processo numa unidade industrial. A metodologia foi construída de modo a constituir um guia para futuras implementações deste software noutras unidades industriais do referido grupo, e consiste numa série de etapas que se iniciam com a escolha dos pontos de controlo e culminam na estabilização e monitorização do processo produtivo.

Aliado à construção desta metodologia, considerou-se fulcral proceder a uma análise crítica ao controlo estatístico de processo existente na DeSousa, com o intuito de realizar uma revisão aos procedimentos aplicados. Desta forma, foram verificadas quais as práticas recomendadas relativamente a controlo estatístico de processo, comparando as mesmas com as aplicadas na referida fábrica, tendo-se verificado que existem oportunidades de melhoria.

No seguimento das discrepâncias detetadas entre as recomendações teóricas e os procedimentos aplicados pela DeSousa, foram propostas alterações, baseadas nos conceitos teóricos, com o objetivo de melhorar o controlo estatístico de processo realizado, aproximando-o das melhores práticas aplicadas na indústria.

Concluída a referida análise, apresentam-se sugestões de futuros projetos que poderão vir a ser desenvolvidos de modo a elevar o controlo estatístico de processo realizado àquilo que são as práticas da indústria 4.0.

Palavras-chave: Controlo Estatístico de Processo, Cartas de Controlo, Cortiça, Rolhas, Frequência de Amostragem, Tamanho de Amostra, Variabilidade, Normalidade.

Statistical Process Control in Cork Industry

Abstract

The group Corticeira Amorim SGPS, S.A., is one of the main Portuguese companies and a world leader in the cork sector. This market leadership is due, among other factors, to the quality of its products. In order to guarantee the expected quality levels and the stability of the production processes, Amorim Cork makes use of statistical process control. The company took the decision to replace the statistical process control software, in use for many years, with the aim of ensuring more effective statistical control by obtaining reliable data.

This project had two main objectives: the construction of a methodology for the implementation of the new statistical control software and the critical analysis of the statistical process control procedures applied in the group's micro-agglomerated cork stoppers factory, called DeSousa.

On the one hand, based on the theoretical framework presented, a methodology was built from scratch for the implementation of a statistical process control software in an industrial unit. The methodology was built in order to be a guide for future implementations of this software in other industrial units of the group and consists of a series of steps that start with the choice of control points and culminate in the stabilization and monitoring of the production process.

In addition to the construction of this methodology, a critical analysis of the existing statistical process control at DeSousa was considered crucial, in order to review the applied procedures. This way, the recommended practices for statistical process control were verified, comparing them with the ones applied in the mentioned plant, and it was found that there are opportunities for improvement.

Following the discrepancies detected between the theoretical recommendations and the procedures applied by DeSousa, changes were proposed, based on the theoretical concepts, in order to improve the statistical process control performed, bringing it closer to the best practices applied in the industry.

Once this analysis is concluded, suggestions are presented for future projects, which may be developed in order to raise the performed statistical process control to the best practices of Industry 4.0.

Keywords: Statistical Process Control, Control Charts, Cork, Stoppers, Sampling Frequency, Sample size, Variability, Normality.

Agradecimentos

Gostaria de aproveitar esta oportunidade para expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização da presente dissertação. Muitas foram as pessoas que me apoiaram ao longo deste percurso, fornecendo orientação, incentivo e apoio, sem as quais este projeto não teria sido possível.

Em primeiro lugar gostaria de expressar a minha profunda gratidão à minha orientadora na FEUP, a Eng.^a Henriqueta Nóvoa pela sua orientação valiosa e pela dedicação ao longo de todo o trabalho. As suas sugestões, conhecimento e conselhos foram fundamentais no desenvolvimento deste projeto. A sua paciência e disponibilidade para discutir as minhas ideias e responder às minhas questões foram inestimáveis.

Expresso também os meus agradecimentos ao Eng^o Hermilio Fernandes, que, apesar de não ter qualquer tipo de obrigação, se mostrou sempre disponível para ajudar, tendo todas as suas recomendações sido de elevada utilidade.

Gostaria de agradecer à minha orientadora na empresa, a Eng.^a Ana Cristina Teixeira, pela ajuda à integração na empresa, assim como por todos os conhecimentos transmitidos relativos à empresa e ao seu processo produtivo.

Da mesma forma gostaria também de agradecer à Eng.^a Sandra Magalhães, responsável pelo controlo de processo da DeSousa, por toda a ajuda e disponibilidade para responder a questões.

Não posso deixar de agradecer à Corticeira Amorim SGPS, S.A., pela oportunidade providenciada para a realização do estágio. Gostaria ainda de estender os meus agradecimentos a toda a equipa de Transformação Digital pela forma como me acolheram.

Gostaria de expressar a minha gratidão aos meus amigos e familiares, em especial aos meus pais, que me apoiaram incondicionalmente durante toda a jornada académica e nunca me deixaram desistir. O encorajamento, incentivo e compreensão foram essenciais para superar os desafios que enfrentei. Agradeço por acreditarem em mim e por me lembrarem constantemente do meu valor e capacidades.

Não posso deixar de mencionar o meu agradecimento à minha namorada Vânia Sousa que me apoiou incondicionalmente ao longo de toda a jornada. Obrigado, também por toda a paciência, carinho e cumplicidade demonstrada, essenciais para a conclusão desta etapa.

Embora seja difícil mencionar todos os envolvidos que desempenharam um papel significativo neste projeto, espero que este agradecimento reflita a minha profunda gratidão por todos os envolvidos.

A realização desta tese de mestrado foi uma jornada desafiadora e gratificante, e sou grato por ter recebido tanto apoio ao longo do caminho. Que este trabalho possa contribuir para o conhecimento do tema retratado e inspirar pesquisas futuras.

Uma vez mais, a todos os que fizeram parte desta jornada, o meu sincero obrigado,

Damião Moreira

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	Apresentação da Indústria da cortiça e da Amorim Cork	2
1.3	Objetivos do projeto.....	3
1.4	Método seguido no projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento Teórico	5
2.1	Qualidade	5
2.1.1	Definição de Qualidade.....	5
2.2	Controlo estatístico de processo.....	6
2.2.1	Definição e Objetivos	7
2.2.2	Vantagens, desvantagens e dificuldades na utilização do CEP	7
2.2.3	Metodologias para a implementação do CEP	9
2.2.4	Seleção do software de CEP	13
2.3	Cartas de Controlo	13
2.4	Capacidade do processo.....	16
2.5	Qualidade 4.0	18
2.6	<i>Engineering Process Control</i>	20
3	Situação Inicial	22
3.1	Apresentação do Processo Produtivo.....	22
3.2	Equipamentos de Medição	27
3.3	Descrição dos controlos realizados	28
3.4	Comparação dos softwares de CEP.....	33
3.5	Introdução do novo software de CEP	34
3.6	Síntese.....	39
4	Análise ao CEP da Amorim Cork	40
4.1	Análise dos resultados provenientes do EPC.....	40
4.1.1	Cartas de controlo	42
4.1.2	Capacidade do processo	45
4.2	Interpretação dos resultados do EPC	47
4.3	Limites de especificação.....	49
4.4	Normalidade da distribuição das características controladas	51
4.5	Tamanho da amostra e frequência de amostragem	52
4.6	Variabilidade entre medições	56
4.7	Análise à estabilidade dos processos	57
4.8	Melhores práticas de CEP	58
4.9	Síntese.....	59
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	60
5.1	Trabalhos futuros.....	62
	Referências.....	64
	ANEXO A: Cronograma	67
	ANEXO B: Cartas de controlo	68
	Cartas de controlo para variáveis	68
	Cartas de controlo para atributos.....	72
	Interpretação das cartas de controlo.....	72
	ANEXO C: Figuras adicionais	75
	ANEXO D: Análises de Pareto.....	82
	ANEXO E: Tabelas resumo das análises realizadas.....	85
	ANEXO F: Tabela resumo do número de cartas de controlo	92

ANEXO G: Fatores para construção de cartas de controlo de variáveis.....	93
ANEXO H: Análise à normalidade das variáveis às quais são aplicadas cartas I-MR	94

Siglas

AIAG: *Automotive Industry Action Group*

ARL: *Average Run Length*

ARL₀: número médio de ciclos de execução do processo sem paragens quando o processo se encontra em controlo

ARL₁: número médio de ciclos de execução do processo sem paragens quando o processo se encontra fora de controlo

ATS: *Average Time to Signal*

CBA: *Classification-Based Approaches*

CEP: Controlo estatístico de processo

C_p: Índice de capacidade do processo

C_{pk}: Índice de capacidade do processo centrado

CTC: Centro de Tratamento de Cortiça

CTQ: *Critical-To-Quality characteristics*

EPC: *EGITRON Process Control*

LIC: Limite inferior de Controlo

LIE: Limite Inferior de Especificação

LSC: Limite Superior de Controlo

LSE: Limite Superior de Especificação

MDT: Moinho Destroçador

MR: *Moving Range*

MTBF: *Mean Time Between Failures*

NISA: *Network Inference Structured Approaches*

OCAP: *Out of Control Action Plan*

OCC: *Operating Characteristic Curve*

PAF: Custos de prevenção, avaliação e falha

P_p: Índice de performance do processo

P_{pk}: Índice de performance do processo centrado

SPC: *Statistical Process Control*

TCA: Tricloroanisol

Índice de Figuras

Figura 1: Metodologia para implementação de CEP (Fonte: Madanhire e Mbohwa 2016).....	10
Figura 2: Metodologia de implementação de CEP sugerida por Antony e Taner (2003)- (Fonte: Antony e Taner 2003)	12
Figura 3: Esquema representativo das cartas de controlo.....	16
Figura 4: Exemplo da relação entre C_p e C_{pk} (Fonte: Montgomery 2013).....	17
Figura 5: Metodologia para a utilização conjunta de CEP e <i>Engineering Process Control</i> (Fonte: Montgomery 2013)	21
Figura 6: Fluxograma ilustrativo do processo de produção da DeSousa	22
Figura 7: Aparas de cortiça, à esquerda, e cortiça de baixa qualidade, à direita.....	23
Figura 8: Granulado RCT, à esquerda, e granulado RN, à direita.....	24
Figura 9: Da esquerda para a direita, rolhas com lavação CL0, CL2000 e CLR.	26
Figura 10: Metodologia para a introdução do software de CEP na Corticeira Amorim SGPS, S.A.	35
Figura 11: Relação entre COV e graus de liberdade (Fonte:McNeese, s.d.).....	37
Figura 12: Carta de controlo apresentada ao operador após a realização do controlo	40
Figura 13: Resultados apresentados pelo EPC	41
Figura 14: Exemplo de análise <i>Capability Six Pack</i> do Minitab.....	42
Figura 15: Exemplo de limites de controlo errados no setor da moldação	43
Figura 16: Exemplo de plano de inspeção com $P_p > C_p$	46
Figura 17: Ilustração da relação entre a distribuição de uma característica, limites de controlo e limites de especificação (Fonte: Specification Limits)	50
Figura 18: Comparação entre a variabilidade da distribuição das médias e a variabilidade da distribuição das amostras individuais (Fonte:Montgomery 2013)	50
Figura 19: Curva OCC para a carta de controlo \bar{X} (Fonte: Montgomery 2013).....	54
Figura 20: Curva OCC para a carta de controlo R (Fonte: Montgomery 2013).....	54
Figura 21: Curva OCC em função da ARL (Fonte: Montgomery 2013)	55
Figura 22: Exemplo de Cartas de Controlo \bar{X} -R (Fonte: Montgomery 2013).....	69
Figura 23: Exemplo de Cartas de Controlo \bar{X} ,S (Fonte: Montgomery 2013).....	70
Figura 24: Exemplo das cartas de controlo I-MR (Fonte: Montgomery 2013).....	71
Figura 25: Exemplo de Carta de Controlo p (Fonte: Oakland 2008a).....	72
Figura 26: Ilustração de cartas de controlo que apresentam ciclos, misturas de padrões, mudanças na média e tendências (Fonte: Montgomery 2013)	73
Figura 27: Ilustração de carta de controlo com aglomeração de pontos em volta da linha central (Fonte: Montgomery 2013).....	73
Figura 28: Carta de controlo com marcação de zonas (Fonte: Montgomery 2013).....	74
Figura 29: Moinho MDT da DeSousa	75
Figura 30: Moinho K800 da DeSousa	75
Figura 31: Mesa Densimétrica da DeSousa.....	75

Figura 32: Secador de granulado da DeSousa.....	76
Figura 33: Silo de estabilização e silo de abastecimento de granulado da DeSousa.....	76
Figura 34: Moldadora da DeSousa	76
Figura 35: Retificadora da DeSousa.....	77
Figura 36: Silo de alimentação, Tambor de lavação e Silo de descarga da DeSousa	77
Figura 37: Estação de Secagem de Rolhas da DeSousa	77
Figura 38: Máquina de escolha automática da DeSousa	78
Figura 39: Máquina de deteção de metais da DeSousa	78
Figura 40: Máquina de contar, Robô, Sacos de Ráfia e Embalamento para Big Bag da DeSousa.....	78
Figura 41: Balança da DeSousa.....	79
Figura 42: Balança de Granulado da DeSousa	79
Figura 43: Balança de Humidade da DeSousa	79
Figura 44: Higrómetro da DeSousa com adaptação para medição de granulado, à esquerda, e medição de rolhas, à direita	79
Figura 45: MedCork da DeSousa	80
Figura 46: Paquímetro da DeSousa	80
Figura 47: Comparador da DeSousa.....	80
Figura 48: Aquário da DeSousa.....	80
Figura 49: Peneires da DeSousa	81
Figura 50: Gráfico de Pareto do setor da moldação	82
Figura 51: Gráfico de Pareto do setor da retificação	84
Figura 52: Fatores para construção de cartas de controlo (Fonte: Montgomery 2013).....	93
Figura 53: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN.....	94
Figura 54: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RN.....	94
Figura 55: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RN	95
Figura 56: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RCT	95
Figura 57: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RCT	96
Figura 58: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RCT	96
Figura 59: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN nos secadores	97
Figura 60: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a temperatura do granulado RN nos secadores	97

Figura 61: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado tratado nos silos	98
Figura 62: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado tratado nos silos	98
Figura 63: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado tratado nos silos.....	99
Figura 64: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN nos silos.....	99
Figura 65: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RN nos silos.....	100
Figura 66: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RN nos silos	100

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela resumo da análise de Antony e Taner (2003) às principais metodologias para implementação de CEP.....	11
Tabela 2: Valores mínimos recomendados de C_p	17
Tabela 3: Diferenças entre CEP e <i>Engineering Process Control</i> (Fonte: Montgomery 2013).....	20
Tabela 4: Quadro resumo dos controlos realizados na DeSousa.....	32
Tabela 5: Relação entre filtros e fatores de variabilidade entre grupos.....	48
Tabela 6: Distinção entre limites de controlo e limites de especificação (Fonte:Northwest Analytics s.d.).....	49
Tabela 7: Conclusões do estudo de normalidade.....	52
Tabela 8: Percentagem de unidades a inspecionar (Fonte: Requeijo 2003).....	55
Tabela 9: Estado de controlo dos processos da DeSousa	57
Tabela 10: Síntese das recomendações realizadas.....	59
Tabela 11: Cronograma de implementação do EPC (Fonte: Amorim Cork)	67
Tabela 12: Análise de Pareto ao setor da moldação	82
Tabela 13: Análise de Pareto ao setor da retificação.....	83
Tabela 14:Tabela resumo a análise realizada às cartas de controlo da moldação	85
Tabela 15: Tabela resumo a análise realizada aos índices de capacidade e performance da moldação.....	87
Tabela 16: Tabela resumo da análise realizada aos índices de capacidade e performance da retificação	91
Tabela 17: Tabela resumo do número de cartas de controlo	92

1 Introdução

A indústria da cortiça desempenha um papel significativo na economia global, com uma ampla gama de aplicações em setores como o vinho, aeroespacial, automóvel e de design. A qualidade desempenha um papel crucial nesse contexto, visto que a cortiça é um material naturalmente versátil e sustentável, sendo conhecido pelas suas propriedades únicas, como isolamento térmico e acústico, durabilidade e resistência ao fogo. A garantia da qualidade do produto final é essencial para a satisfação dos clientes, a conformidade com os regulamentos e a competitividade no mercado. Nesse sentido, o controlo estatístico de processo (CEP) emerge como uma ferramenta fundamental para monitorizar e otimizar as operações da indústria da cortiça, visando aprimorar a qualidade dos produtos, reduzir os desperdícios e melhorar a eficiência geral do processo.

O presente capítulo irá apresentar o contexto do projeto, a empresa na qual o mesmo foi desenvolvido, os objetivos e metodologia da dissertação e a estrutura do presente documento.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Ao longo dos últimos 100 anos, a qualidade tornou-se um aspeto crítico para o sucesso das empresas dos mais variados setores, sendo um fator determinante na reputação da empresa, que afeta decisivamente a sua capacidade competitiva. Assim sendo, a procura pela qualidade é uma preocupação constante para todas as empresas que desejam ter sucesso a longo prazo.

A Amorim Cork, sendo uma das maiores empresas nacionais e líder na produção e distribuição de cortiça por todo o mundo, tem na qualidade dos seus produtos um fator chave para o seu sucesso. Neste sentido, surge a necessidade de ter os seus processos produtivos sob controlo, de modo a que o produto final apresente as características desejadas.

Devido à rápida evolução tecnológica ocorrida nos últimos anos, verificou-se que o atual software de controlo estatístico de processo se encontrava desatualizado face aos existentes no mercado e às necessidades exigidas para o controlo de processo, existindo elevada incerteza quanto aos dados gerados pelo mesmo, não havendo sequer apoio técnico por parte do fornecedor do mesmo, justificando desta forma a sua substituição.

O presente projeto tem como principal finalidade a realização de uma análise crítica ao controlo estatístico de processo praticado pela Amorim Cork, através da revisão dos procedimentos atualmente existentes e da sugestão de melhorias que poderão aprimorar o processo em análise.

Adicionalmente considerou-se fundamental a realização do contraponto entre o que são as recomendações teóricas e o que é aplicado na indústria, tentando contribuir para o aperfeiçoamento das práticas utilizadas.

A equipa de Transformação Digital ficou responsável pela seleção e implementação do novo software de controlo estatístico do processo em 6 fábricas do grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A., sendo que, no decorrer deste trabalho, o software em questão apenas foi implementado em quatro delas. O presente documento é, no entanto, focado apenas na DeSousa, fábrica de rolhas microaglomeradas da Amorim Cork.

1.2 Apresentação da Indústria da cortiça e da Amorim Cork

A cortiça é a casca do sobreiro, uma árvore que pode viver mais de 200 anos e que cobre 22% da floresta nacional, sendo que 34% da área mundial do montado de sobreiro se localiza em Portugal (APCOR, s.d.). A cortiça é uma matéria-prima 100% natural e reutilizável, que é utilizada na sua totalidade no processo produtivo, não existindo assim qualquer tipo de desperdício (APCOR, s.d.). O descortiçamento pode acontecer apenas de 9 em 9 anos, sendo que o primeiro só pode ocorrer num sobreiro com cerca de 25 anos de idade. Uma vez que o material proveniente da primeira e segunda extração é bastante irregular e apresenta elevada dureza, o mesmo não é aproveitado para a produção de rolhas.

A indústria da cortiça é uma das mais importantes no setor florestal em Portugal, sendo responsável por 65% das exportações e 50% da transformação da cortiça a nível mundial. Atualmente, a indústria corticeira nacional emprega mais de 8000 trabalhadores diretos, sendo 49% destes qualificados, que produzem, em média, 40 milhões de rolhas por dia. As exportações desta indústria superaram a barreira dos 1200 milhões de euros em 2022, com um aumento do preço da matéria-prima de 25 a 30 % no mesmo ano (Eco Sapo 2023).

Com sede em Santa Maria de Lamas, o grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A., é líder mundial no fabrico e distribuição de produtos de cortiça com mais de 150 anos de história e presença em mais de 100 países. Fundado em Portugal em 1870, o grupo notabiliza-se pela excelência em todas as etapas do processo de fabrico, desde a seleção da matéria-prima até à entrega do produto final aos seus clientes. A Amorim Cork é uma das empresas do grupo que se dedica exclusivamente à produção de rolhas de cortiça. A instituição investe continuamente em inovação e desenvolvimento de tecnologia e em processos produtivos sustentáveis, primando assim pela melhoria contínua da qualidade dos seus produtos e serviços, e, graças às emissões negativas de CO₂ das rolhas, assume um forte compromisso com a sustentabilidade.

O grupo opera nas áreas de matérias-primas, rolhas, revestimentos, agregados compostos e isolamento, emprega mais de 4.600 pessoas em todo o mundo, tendo alcançado um EBITDA de € 164 milhões como resultado de vendas recordes superiores a 1000 milhões de euros (Amorim 2023).

O projeto a partir do qual este documento foi redigido teve lugar em apenas 4 das fábricas do grupo Amorim, nomeadamente a DeSousa, a Equipar, a Champcork e a Socori, que serão seguidamente apresentadas.

A DeSousa está localizada na sede da Amorim Cork, em Santa Maria de Lamas, e dedica-se à produção de rolhas microaglomeradas. As rolhas microaglomeradas são provenientes de pequenos grãos de cortiça, cujas dimensões devem variar entre os 0.5 e 2 milímetros, aglutinados com resinas sintéticas ou naturais. Esta fábrica realiza todo o processo produtivo que vai desde a trituração da cortiça até ao embalamento da rolha semiacabada, isto é, sem marcação e tratamento, produzindo cerca de 5 milhões de rolhas diariamente. Esta fábrica está inserida na unidade de negócios de vinhos tranquilos.

De forma similar, a Equipar, localizada em Coruche, é produtora de rolhas microaglomeradas, aglomeradas e de rolhas técnicas. As rolhas aglomeradas diferenciam-se das microaglomeradas através do seu tamanho de grão, uma vez que, no caso das rolhas aglomeradas a dimensão do grão varia entre 3 e 7 milímetros. Por outro lado, as rolhas técnicas são rolhas que nas suas extremidades possuem discos de cortiça, podendo estes estar colados nas duas ou apenas numa extremidade. Esta unidade industrial diferencia-se ainda da DeSousa por realizar a marcação e tratamento de rolhas de acordo com as especificações do cliente final.

O grupo Amorim também produz rolhas de champanhe, na unidade de negócio de vinhos espumosos, a Amorim Champcork. As rolhas de champanhe são também rolhas aglomeradas com discos numa das suas extremidades, no entanto, esta unidade industrial não possui um setor de trituração, pelo que, a maior parte da matéria-prima aqui utilizada é fornecida pela DeSousa,

situada a poucos quilómetros de distância, assim como pela Equipar. Após a receção da matéria-prima, esta fábrica encarrega-se de todo o processo produtivo, culminando com a marcação e tratamento das rolhas, vendendo as mesmas semiacabadas ou completamente acabadas.

A última unidade industrial na qual foi implementada o novo software de controlo estatístico do processo foi a Socori, em Rio Meão. Esta fábrica, como parte integrante do grupo francês ETS Christian Bourrassé, foi adquirida em 2014 pela Amorim, fazendo parte da estratégia de expansão no mercado da cortiça, revelando-se um passo importante na consolidação da posição da Amorim Cork como líder mundial na produção e comercialização de cortiça (Santiago 2017). A Socori, além de todo o processo de produção de rolhas microaglomeradas, similar ao da DeSousa e ao da Equipar, possui ainda um processo de produção de rolhas naturais, rolhas técnicas e rolhas de champanhe, e tal como as unidades anteriores vende produto semiacabado e produto acabado, já que tem capacidade de realizar todo o processo até à marcação e tratamento das mesmas. A Socori tem também presente na sua fábrica todo o processo de preparação de cortiça, desde que a mesma é recolhida das herdades até estar apta para ser utilizada no processo produtivo.

1.3 Objetivos do projeto

Uma vez que o projeto previamente apresentado é transversal a diversas unidades de negócios e equipas funcionais, foi importante a definição de objetivos concretos de modo a existirem métricas para a avaliação do mesmo e de modo a facilitar uma planificação do trabalho a ser realizado. No início do projeto foram definidos os seguintes objetivos:

- Analisar a atual situação de controlo estatístico de processo;
- Desenvolver uma metodologia para a implementação do novo software de controlo estatístico de processo;
- Implementar o novo software de controlo estatístico de processo, assegurando uma correta utilização do novo software por parte dos operadores e equipas de suporte das unidades;
- Avaliar a estabilidade do processo;
- Identificar oportunidades de melhoria no controlo estatístico de processo;
- Recomendar práticas a adotar no controlo estatístico de processo.

1.4 Método seguido no projeto

O desenvolvimento deste projeto exigiu a definição de uma metodologia adequada à concretização dos objetivos que foram propostos. Neste sentido, numa fase inicial do processo, foram visitadas diversas fábricas do grupo Amorim com o intuito de conhecer melhor a realidade da indústria da cortiça e as interações entre as várias unidades produtivas. Estas visitas permitiram ainda uma adaptação mais eficiente ao ambiente industrial no qual está inserido o fabrico de rolhas de cortiça.

A metodologia que foi definida engloba os seguintes passos:

1. Definição do problema a ser estudado;
2. Análise do controlo estatístico de processo realizado;
3. Recolha de dados do processo;
4. Recomendação de melhorias a implementar.

Foi ainda elaborado pela empresa um cronograma relativo ao planeamento da introdução do novo software nas unidades industriais. O cronograma em questão está disponibilizado no ANEXO A.

1.5 Estrutura da dissertação

O presente documento encontra-se estruturado em 5 capítulos distintos, sendo o capítulo atual o primeiro deles. Os restantes capítulos estão divididos da seguinte forma:

- No capítulo 2 é realizada uma breve revisão bibliográfica dos conceitos teóricos que estão relacionados com controlo estatístico de processo. O objetivo desta revisão é contextualizar o leitor com o tema do documento e fundamentar a análise realizada, assim como as propostas de melhoria sugeridas.
- O capítulo 3 engloba a apresentação detalhada do processo de fabrico de rolhas técnicas, uma descrição dos aparelhos de controlo que são utilizados no processo e ainda uma descrição dos controlos que são realizados. O mesmo capítulo explicita ainda as diferenças entre o software antigo de controlo estatístico de processo e o novo software, evidenciando os motivos pelos quais foi tomada a decisão de substituição de software.

Neste capítulo é também proposta uma metodologia para a implementação do novo software de CEP numa unidade industrial do grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A, explicitando ainda como deve ser realizada a estabilização dos limites de controlo na fase I de utilização de cartas de controlo, antes de prosseguir para a fase II.

- O capítulo 4 apresenta uma análise aos resultados providenciados pelo EGITRON Process Control (EPC), sugerindo ainda uma interpretação das cartas construídas, do ponto de vista da variabilidade presente entre grupos. É também realizada uma reflexão sobre as práticas de controlo estatístico de processo que são atualmente empregues na Amorim Cork, tendo em conta a contextualização teórica apresentada no capítulo 2.

Neste capítulo são ainda apresentadas recomendações de melhoria do controlo estatístico de processo realizado pela Amorim, tendo em conta as recomendações teóricas e as melhores práticas implementadas pelas mais diversas empresas. Por fim, o capítulo mencionado apresenta ainda uma análise à estabilidade dos principais processos da DeSousa.

- No capítulo 5 são apresentadas as conclusões retiradas do trabalho realizado, sendo ainda sugeridas propostas relativas a trabalhos futuros.

De referir que no final do documento encontram-se uma série de anexos redigidos ao longo da dissertação, que complementam o que é descrito no presente documento.

2 Enquadramento Teórico

O presente capítulo tem como intuito a realização de uma breve descrição dos conceitos teóricos que sustentam a implementação do controlo estatístico de processo. Assim, será primeiramente realizada uma contextualização do conceito de qualidade (Secção 2.1), seguida de uma revisão dos princípios relacionados com controlo estatístico de processo (Secção 2.2). Finalmente serão apresentados os conceitos relativos a cartas de controlo (Secção 2.3), capacidade do processo produtivo (Secção 2.4), qualidade 4.0 (Secção 2.5) e ainda *Engineering Process Control* (Secção 2.6).

2.1 Qualidade

2.1.1 Definição de Qualidade

Qualidade é um fator fundamental para o sucesso e sobrevivência de qualquer empresa independentemente do setor em que atua. Deste modo, um projeto de melhoria de qualidade por parte de uma empresa pode levar a uma redução de custos, através de uma diminuição de produtos ou serviços defeituosos, como resultado de um aumento da eficiência, produtividade e rentabilidade.

Ao longo do tempo a definição do termo qualidade foi bastante debatida, sendo que as definições aceites foram também elas evoluindo de acordo com as exigências da indústria. A primeira definição de qualidade remonta ao tempo dos filósofos gregos, como Sócrates e Aristóteles, que definiram qualidade como excelência, permitindo assim a utilização do termo de qualidade nas mais diversas áreas (Reeves e Bednar 1994). No século XVIII, com o desenvolvimento do comércio a nível mundial, o consumidor ganhou importância no que concerne à avaliação da qualidade do produto e essa qualidade era vista como proporcional ao valor do item: sendo que um produto mais caro seria considerado de maior qualidade (Reeves e Bednar 1994).

Com o intuito de definir o termo qualidade, Shewhart (1931) menciona que qualidade pode ser dividida em dois conceitos. O primeiro conceito de qualidade é algo objetivo, que não pode ser discutido, sendo algo mensurável. Já o outro conceito é subjetivo, variando por isso de pessoa para pessoa. De acordo com Crosby (1980), qualidade é definida como “conformidade com as especificações”, na medida em que é a única forma de ser possível quantificar qualidade e como tal gerir a mesma. Segundo Deming (1986) qualidade é algo que não tem uma única definição e tem de ser definida tendo em conta o contexto e o agente a ele associado.

De acordo com Riley e Juran (1999), o termo qualidade engloba dois conceitos distintos que se complementam. O primeiro dos conceitos é o conceito de qualidade como sendo o conjunto de funcionalidades de um produto que os clientes identificam como uma necessidade e como tal afetam diretamente a satisfação do cliente para com o produto. Assim sendo, qualidade seria vista como algo subjetivo já que as necessidades variam de acordo com cada indivíduo. O segundo conceito é o facto de a qualidade de um produto se medir pela presença ou ausência de defeitos. Este conceito está diretamente conectado com o conceito de variabilidade já que a variabilidade é responsável pela produção de uma maior ou menor taxa de produtos defeituosos ou com defeitos. Reeves e Bednar (1994) sugerem que qualidade pode corresponder e/ou exceder às expectativas do cliente.

No senso comum qualidade pode ser entendida como um conjunto de características que um produto deve possuir (Montgomery 2013). O mesmo autor menciona ainda que a definição tradicional de qualidade é “aptidão para o uso”, ou seja, um produto deve ser capaz de cumprir as tarefas para as quais foi projetado. No entanto, uma das principais críticas que são apontadas a esta definição de qualidade é a falta de importância que é atribuída ao cliente, sendo apenas

uma questão do cumprimento, ou não, das especificações. Assim sendo, o autor propõe uma definição mais moderna para o conceito de qualidade, como sendo “inversamente proporcional à variabilidade”, sendo que um aumento de qualidade implicaria diretamente uma redução da variabilidade do processo.

Desta forma, apesar de não existir uma única definição para o conceito de qualidade, parece plausível afirmar que existem proximidades entre as diversas teorias mencionadas e que a gestão da qualidade tem de ser crucial em qualquer organização, uma vez que a redução da variabilidade no processo, tem como consequência uma redução da taxa de defeitos e/ou peças defeituosas e, como tal, provoca um aumento da satisfação do cliente para com a empresa em questão.

Dada a dificuldade em definir o conceito de qualidade, alguns autores optam por definir qualidade como um conjunto de dimensões. Garvin (1987) menciona que qualidade pode ser vista com um conjunto das seguintes características:

1. **Performance:** esta dimensão está relacionada com a já mencionada definição tradicional de qualidade, assim como com o conceito apresentado por Riley e Juran (1999), e avalia o quão bem um produto cumpre as funções desejadas;
2. **Fiabilidade:** esta característica está diretamente ligada com o ponto de vista do cliente em relação à qualidade do produto já que avalia a qualidade do mesmo em função das avarias deste. Aqui podem ser usadas métricas como o MTBF (*Mean Time Between Failures*), ou a taxa de falha por unidade;
3. **Durabilidade:** este parâmetro está relacionado com o tempo de vida útil do produto e é bastante apreciado pelo cliente final;
4. **Facilidade de manutenção:** outra das dimensões propostas por Garvin (1987) envolve o tempo e o custo de reparação ou manutenção de um produto. Este ponto é particularmente interessante para os clientes aos quais a falta do produto irá provocar custos avultados;
5. **Estética:** esta característica relaciona-se com o quão visualmente apelativo um determinado artigo é. Esta dimensão apresenta um carácter mais subjetivo do que algumas das já mencionadas, podendo apenas ser aplicada a produtos e não a serviços;
6. **Características:** esta propriedade encontra-se interligada com a comparação do produto em questão com produtos similares. Aqui o cliente procura identificar as características únicas deste produto;
7. **Qualidade percebida:** a reputação de uma empresa incute um pré-conceito de qualidade no cliente, provocando lealdade do mesmo para com a marca em questão;
8. **Conformidade com as especificações:** a última dimensão aproxima-se da definição de qualidade proposta por Crosby (1980), e refere que um produto de qualidade é aquele que cumpre exatamente as especificações projetadas.

Montgomery (2013) sugere também uma divisão diferente da apresentada para o conceito de qualidade, sendo elas a qualidade do projeto e a qualidade da conformidade. Estes dois conceitos encontram-se relacionados com a definição de que qualidade “significa aptidão para o uso”. A qualidade do projeto ou design relaciona-se com o quão efetivo o mesmo é em atender às necessidades do cliente. Por outro lado, qualidade da conformidade reflete o quão preciso o produto é em corresponder ao projeto elaborado.

2.2 Controlo estatístico de processo

O controlo estatístico de processo (CEP) é uma técnica utilizada para a monitorização e controlo de processos produtivos, com o intuito de identificar variações no processo em análise e adotar medidas para corrigir essas mesmas variações, de modo a evitar que as mesmas afetem a qualidade do produto final. A presente secção visa explicitar o conceito de CEP, apresentar as principais vantagens, desvantagens e dificuldades relativas à sua utilização, expor diversas

metodologias que podem ser utilizadas para a sua implementação, assim como as principais recomendações relativas à escolha de software de CEP.

2.2.1 Definição e Objetivos

A definição de controlo estatístico de processo, tal como a definição de qualidade, varia consoante o contexto e o autor. Assim, existem diversas tentativas para explicar este conceito.

Controlo estatístico do processo (CEP) está diretamente relacionado com competitividade visto que as empresas competem em 3 dimensões: qualidade, preço e serviço (Oakland 2008). Assim, o mesmo autor refere ainda que o CEP não é apenas um conjunto de ferramentas estatísticas, e deve ser visto como uma estratégia para a redução de variabilidade, de modo a que uma organização possa atingir o conceito de qualidade total. Oakland (2008) afirma que o CEP apenas existe pois há variabilidade em qualquer processo produtivo e como tal a utilização de métodos estatísticos é a única forma plausível de controlar a mesma, já que a sua total eliminação não é possível. Apesar do CEP poder ser definido como a aplicação de ferramentas estatísticas de modo a garantir uma melhoria contínua da qualidade de um processo, Oakland (2008) defende que uma melhor definição de CEP é que este representa uma abordagem simples e eficiente para a resolução de problemas relacionados com variabilidade e consequente melhoria do processo produtivo.

Já, Madanhire e Mbohwa (2016) definem o CEP como consistindo na aplicação de métodos estatísticos de controlo de processo de modo a garantir que o mesmo opera de acordo com a sua capacidade, produzindo peças livres de defeitos. Uma outra abordagem no que respeita a este conceito é apresentada por Pires (2000) afirmando que “CEP pode ser descrito como uma ferramenta de monitorização *online* da qualidade”. Em síntese, o CEP pode ser mencionado como sendo uma técnica de resolução de problemas que permite monitorizar, controlar, analisar, gerir e melhorar um processo recorrendo à utilização de métodos estatísticos, e que permite ainda a medição de performance do processo de forma dinâmica. O objetivo desta técnica é a eliminação de causas assinaláveis de variação de modo a atingir a estabilização do processo (Antony et al. 2000).

2.2.2 Vantagens, desvantagens e dificuldades na utilização do CEP

A utilização do CEP na indústria tem sido amplamente reconhecida como uma das formas mais eficazes de melhorar a qualidade e eficiência dos processos produtivos. No entanto, o ser humano é, por natureza, resistente à mudança e assim, muitas vezes, a introdução de novas técnicas num processo já implementado não é bem aceite, ou é apenas vista como apenas mais uma iniciativa que irá provocar um impacto mínimo nos processos existentes. Como tal, é importante enaltecer os benefícios que a introdução de CEP acarreta.

De acordo com Oakland (2008b) a introdução de CEP apresenta benefícios como:

- Poder ser aplicado a qualquer tipo de problema, sem qualquer tipo de restrições;
- Fornecer dados que auxiliam na tomada de decisão;
- Provocar um aumento da preocupação com a qualidade do produto por parte dos operários;
- Aumentar a perceção do processo de tomada de decisão por parte dos operários;
- Tornar o processo de gestão metódico;
- Melhorar as comunicações entre equipas funcionais.

O mesmo autor enaltece ainda que a curto prazo, o controlo estatístico de processo permite uma rápida deteção de alterações no processo em análise, levando assim a uma rápida tomada de decisão sobre as ações corretivas que devem ser implementadas. É ainda referido que existe uma redução direta dos custos de falha interna e externa, graças a esta mudança. Desta forma,

existe uma redução do número de peças defeituosas produzidas e como tal, um aumento de eficiência no processo. Esta afirmação está em linha com o que é também realçado por Madanhire e Mbohwa (2016), sendo que os mesmos acrescentam que o CEP providencia uma análise em tempo real que permite estabelecer um ponto de partida para um melhoramento da capacidade do processo. É também referido pelos mesmos autores que o uso de CEP melhora a relação com o cliente, na medida em que lhe transmite uma maior confiança no processo e na qualidade das peças.

Antony et al. (2000) menciona benefícios similares aos que são referidos por Oakland, no entanto, acrescenta ainda as seguintes vantagens resultantes da implementação de CEP:

- Aumento da informação sobre o momento de ajuste do processo por parte do operador;
- Aumento da distinção de causas comuns e assinaláveis de variação e consequente remoção de causas assinaláveis;
- Redução do tempo de resolução de problemas;
- Melhoria da comunicação com o cliente, relativamente à capacidade de o processo produzir peças que cumprem as especificações;
- Aumento de qualidade do produto final, com redução de custos e aumento de produtividade.

Os benefícios mencionados por Does et al. (1997) são, também, em tudo similares ao que é mencionado por Antony et al. (2000) e por Oakland (2008b).

A utilização de CEP pode trazer inúmeros benefícios para qualquer tipo de indústria, tal como foi mencionado anteriormente. No entanto, como qualquer técnica ou ferramenta, o CEP acarreta também algumas desvantagens que devem ser consideradas.

Historicamente, uma das principais desvantagens relacionadas com a utilização de CEP, evidenciada no estudo realizado por Brannstrom-Stenberg e Deleryd (1999), consistia no facto de que a implementação do CEP poderia levar a elevados investimentos. No entanto, apenas organizações que implementaram CEP devido a requisitos dos clientes é que sublinharam este facto. Do lado das organizações que implementaram esta técnica de forma voluntária evidenciaram a dificuldade em estabelecer os parâmetros que deveriam utilizar para controlar o processo. Com os avanços tecnológicos mais recentes, este custo tem vindo a diminuir devido ao fácil acesso a computadores e a internet com custos acessíveis, representando cada vez menos um entrave à implementação de CEP no processo produtivo.

Almeida (2020) menciona que uma das desvantagens associadas à implementação de CEP é o longo período de tempo que leva até se poderem sentir os efeitos da implementação, assim como a elevada quantidade de dados necessários. O mesmo autor destaca também o elevado investimento que tem de ser feito em instrumentos de medição adequados além do facto de a capacidade de previsão do CEP ser algo limitada já que é uma ferramenta de análise dos dados recolhidos, sendo assim realizada uma análise retrospectiva dos processos.

Muitas unidades industriais em todo o mundo já implementaram o CEP no seu processo produtivo. Diversos estudos foram feitos sobre essas implementações, realçando os desafios e os motivos de falha na sua implementação

A título de exemplo, Oakland (2008c) realça que a implementação falhada do CEP se pode dever ao facto de os modelos de explicação da variabilidade do processo não compreenderem toda a variação do processo e como tal as ações a serem tomadas serem insuficientes. O mesmo autor refere que a principal barreira que a implementação do CEP enfrenta consiste na grande desvalorização que as empresas apresentam no que respeita à formação dos colaboradores, relativamente ao conhecimento estatístico.

Por outro lado, Madanhire e Mbohwa (2016) assinalam que as empresas apresentam uma elevada resistência à mudança e os responsáveis pela gestão não se comprometem com o projeto

de implementação, não transmitindo a verdadeira importância do mesmo ao resto da organização. Antony et al. (2000) também destaca a falta de compromisso da gestão como um fator determinante no insucesso da implementação do CEP, assim como a falta de treino acerca de técnicas de controlo estatístico. Adicionalmente, é também mencionado que a utilização de sistemas de medição inadequados, a falta de conhecimento sobre o processo e, portanto, sobre que variáveis controlar, bem como a comunicação ineficiente entre todos os agentes envolvidos são outros fatores que contribuem para esse insucesso.

2.2.3 Metodologias para a implementação do CEP

A implementação do CEP é um processo crítico e como tal requer um planeamento cuidadoso e a consideração de vários fatores. Várias metodologias são sugeridas como resultado do estudo da implementação de CEP nas mais variadas indústrias. Nesta secção serão apresentadas as principais metodologias propostas para a implementação.

Antony et al. (2000) propõe uma metodologia cujos passos se encontram relacionados com os fatores apresentados por Montgomery (2013). Esta metodologia é focada no treino dos operários, na dedicação dos gestores e no trabalho de equipa e pode ser sumarizada da seguinte forma:

1. Foco e apoio da equipa de gestão;
2. Treino estatístico de todos os membros da organização;
3. Trabalho de equipa;
4. Priorização e definição de processos;
5. Seleção de atributos e variáveis a serem controladas;
6. Definição dos sistemas de medida;
7. Seleção das cartas de controlo a serem utilizadas;
8. Adoção de mudanças na cultura organizacional resultantes da introdução do CEP;
9. Realização de projeto piloto;
10. Uso de softwares apropriados.

Montgomery (2013) destaca que independentemente da metodologia a ser aplicada, a implementação do CEP deve incluir um conjunto de fatores de modo a ser corretamente implementada. Os fatores são os seguintes:

- Deve existir um estilo de gestão focado na liderança;
- O CEP deve ser implementado sob a forma de um projeto e ser atribuído a uma equipa dedicada;
- Todos os membros da organização, independentemente da sua posição hierárquica, devem receber treino estatístico;
- O foco na redução da variabilidade é essencial;
- O sucesso do projeto deve ser medido de forma quantitativa, e sempre que possível, em termos económicos;
- O CEP deve ser um mecanismo de comunicação dos resultados positivos a toda a organização.

O autor realçou a importância dos primeiros 2 pontos, como resultado de uma estratégia “top-down”, assegurando desta forma o alinhamento entre a estratégia definida pela direção e as ações que são tomadas no chão de fábrica para cumprir esse planeamento.

Outra das metodologias sugeridas é baseada na importância da correta identificação das características chaves que devem ser controladas. A metodologia sugerida por Madanhire e Mbohwa (2016) pode ser resumida na Figura 1:

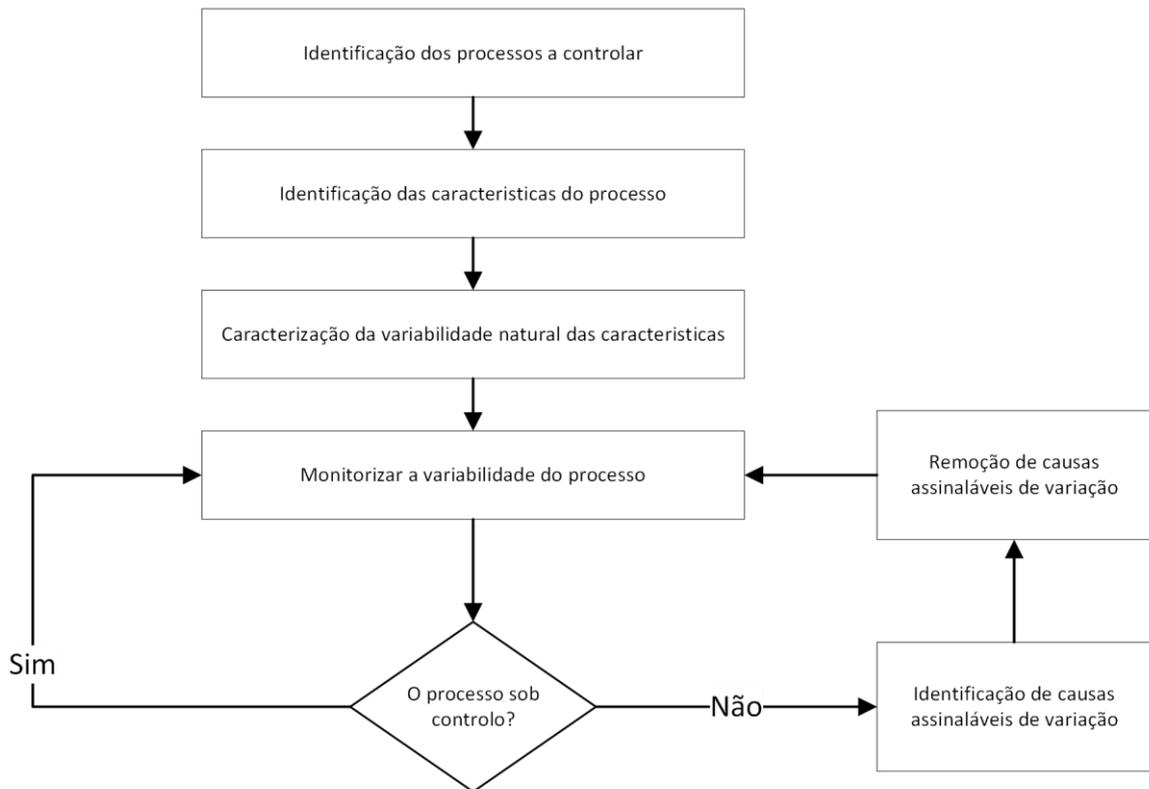


Figura 1: Metodologia para implementação de CEP (Fonte: Madanhire e Mbohwa 2016)

Pires (2000) sugere uma abordagem mais sistemática e abrangente para a implementação do CEP, com base no que foi descrito por Cate et al. (1999), Hradesky (1988) e Montgomery (1996). A metodologia sugerida compreende as seguintes etapas:

1. Definição do projeto;
2. Planeamento da implementação do CEP;
3. Treino dos agentes envolvidos;
4. Implementação efetiva do CEP;
5. Acompanhamento e monitorização.

Antony e Taner (2003) elaboram uma análise comparativa das metodologias propostas por Oakland (1999), Watson (1998), Motwani et al. (1994) e Does et al. (1997). Esta análise pode ser resumida na Tabela 1:

Tabela 1: Tabela resumo da análise de Antony e Taner (2003) às principais metodologias para implementação de CEP

Metodologia	Vantagens	Limitações
Oakland (1999)	<ul style="list-style-type: none"> ·Importância atribuída ao treino relativo a CEP; ·Presença das equipas de gestão; ·Abordar os problemas de forma individual. 	<ul style="list-style-type: none"> ·Ausência de informação relativamente ao processo de recolha de dados; ·Ausência de referência a sistemas de medição; ·Ausência de menção à importância do trabalho em equipa.
Watson (1998)	<ul style="list-style-type: none"> ·Importância atribuída à capacidade dos sistemas de medição; ·Empoderamento dos operadores; ·O facilitador do CEP deve providenciar acompanhamento técnico e estatístico aos elementos da empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> ·Importância do envolvimento da gestão não é mencionada; ·Ausência de explicação sobre priorização dos processos para realização do projeto piloto.
Motwani et al. (1996)	<ul style="list-style-type: none"> ·Importância do envolvimento dos mais altos níveis hierárquicos; ·Importância atribuída à capacidade dos sistemas de medição; ·Referência às especificações do cliente; ·Informações relativas à formação de equipas para implementação de CEP. 	<ul style="list-style-type: none"> ·Falta de explicitação acerca da priorização dos processos para implementação do CEP; ·Inexistência de um plano para lidar com situações em que o processo se encontra fora de controlo estatístico;
Does et al. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> ·Divisão da implementação em 2 áreas: organizacional e operacional. ·Encoraja o uso de projetos piloto; ·Explicação acerca de priorização de processos; ·Apresentação de um plano de ação para situações fora de controlo estatístico; 	<ul style="list-style-type: none"> ·Pouca importância atribuída ao treino de todos os envolvidos no processo de CEP; ·Ausência de referência ao envolvimento da equipa de gestão;

Antony e Taner (2003) fornecem ainda uma sugestão de uma metodologia que pode ser aplicada que se encontra sumariada na Figura 2:

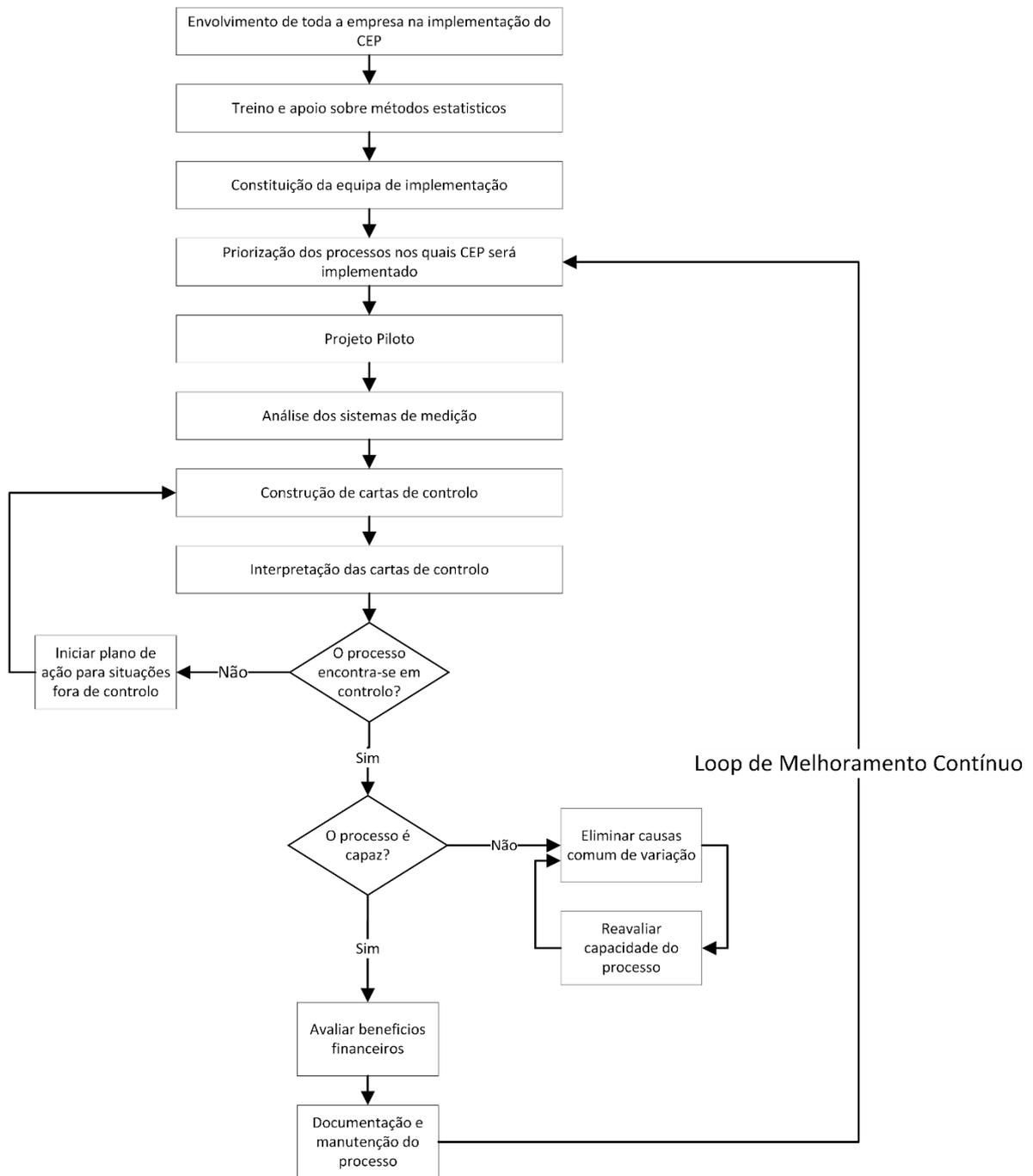


Figura 2: Metodologia de implementação de CEP sugerida por Antony e Taner (2003)-(Fonte: Antony e Taner 2003)

A metodologia ilustrada na Figura 2 apresenta similitudes com o que é descrito na norma ISO 7870-2:2013.

Em suma, apesar de existirem diversas metodologias que podem ser seguidas na implementação do CEP, salienta-se que existe um conjunto de ideias fundamentais que são transversais a todas elas, nomeadamente: a metodologia deve privilegiar o envolvimento das equipas de gestão; o treino estatístico de todos os envolvidos; uma cuidada análise dos sistemas de medição; a priorização dos processos nos quais o CEP será implementado e a realização de um teste piloto de modo a avaliar as dificuldades na implementação.

2.2.4 Seleção do software de CEP

Com a grande evolução tecnológica das últimas décadas surgiram inúmeros softwares de CEP no mercado capazes de lidar com grandes volumes de dados, cada um com as suas próprias vantagens e desvantagens. Assim, a seleção de um software de CEP adequado é crucial para garantir que a empresa possa maximizar os benefícios oferecidos por tal ferramenta.

Montgomery (2013) sugere um conjunto de fatores que devem ser tidos em conta na seleção de um software a implementar como forma de auxílio ao CEP:

- O software deve ser capaz de funcionar num computador pessoal, dado que os softwares integrados num sistema próprio tendem a não ser capazes de produzir cartas de controlo;
- O software deve ser “user friendly” já que o mesmo deve ser uma ajuda para os operadores realizarem o CEP e não um entrave. Idealmente o software deve poder ser personalizado consoante o tipo de utilizador;
- A aplicação deve ser capaz de mostrar nas cartas de controlo dados pelo menos das últimas 25 amostras, sendo que numa situação ideal o utilizador deve conseguir seleccionar o número de dados mostrados;
- O software deve ser capaz de importar e exportar dados de outros sistemas utilizados pela empresa e em vários formatos;
- O sistema deve ser capaz de lidar com várias características em simultâneo, já que é uma prática comum a análise de várias características;
- Os limites de controlo e a linha central devem ser automaticamente calculados a partir dos dados introduzidos, mas o software deve também permitir que seja o utilizador a definir os mesmos;
- O software, além de introdução manual de dados, deve oferecer a possibilidade de adquirir automaticamente dados a partir de instrumentos de controlo, realizando assim um controlo em tempo real dos produtos;
- Deve ser possível realizar todo o tipo de cálculos estatísticos no software, incluindo histogramas e estudos de capacidade do processo;
- O software deve ter suporte por parte da empresa que o desenvolveu.

2.3 Cartas de Controlo

Note-se que, a menos que existam referencias em sentido contrário, as informações transmitidas nesta secção (2.3) são baseadas em Montgomery (2013).

As cartas de controlo, desenvolvidas por Walter Shewhart, em 1924, enquanto trabalhava nos laboratórios “Western Electric & Bell Telephone”, são, ainda, consideradas das ferramentas mais uteis no que a CEP diz respeito, existindo desta forma uma elevada utilização das mesmas na indústria (Montgomery 2013). Por outro lado, as cartas de controlo multivariadas, apesar de permitirem a monitorização simultânea de processos caracterizados por várias variáveis, são ainda pouco utilizadas na indústria devido à sua complexidade e falta de formação estatística. Desta forma, o foco da presente secção serão as cartas de controlo que são utilizadas para a análise de uma só variável. O mesmo autor destaca ainda 5 razões para a popularidade das cartas de controlo:

1. As cartas de controlo são uma técnica de aumento da produtividade, na medida em que reduzem o desperdício e a correção de peças defeituosas;
2. As cartas de controlo, quando aplicadas a parâmetros de processo, são eficientes na prevenção de defeitos já que sinalizam os casos em que o processo se encontra fora de controlo estatístico antes da produção de unidades não conforme;
3. As cartas de controlo previnem ajustamentos desnecessários ao processo, uma vez que distinguem entre causas comuns e assinaláveis de variação;

4. As cartas de controlo providenciam um diagnóstico em tempo real do estado do processo e permitem avaliar tendências;
5. A capacidade do processo pode ser estimada a partir de parâmetros obtidos com recurso a cartas de controlo.

Comparando os histogramas com as cartas de controlo, os histogramas providenciam uma análise a um determinado momento do processo enquanto as cartas de controlo evidenciam a performance do processo ao longo do tempo (Oakland 2008c).

As cartas de controlo podem ser definidas como sendo uma importante técnica de monitorização do processo, uma vez que permitem a redução da variabilidade e avaliar a capacidade do processo (Oakland 2008c). Pires (2000) define ainda as cartas de controlo como “gráficos temporais que apresentam os valores da medição da variável de interesse no eixo vertical e os pontos no tempo nos quais as medições são efetuadas no eixo horizontal”.

A variabilidade de um processo pode dever-se a dois fatores: causas comuns de variação e causas assinaláveis de variação. Causas comuns de variação representam a variação natural do processo, estando o mesmo sob controlo estatístico quando apenas este tipo de causas está presente. Assim é esperado que o processo se mantenha neste estado durante um período de tempo alargado. Já causas assinaláveis de variação correspondem a anomalias introduzidas no processo produtivo e como tal, é possível a sua identificação e resolução.

Os elementos que constituem uma carta de controlo são a linha central (correspondente, normalmente, à média do processo), limite superior de controlo e limite inferior de controlo. O cálculo destes valores é explicitado no ANEXO B. É prática comum da indústria a definição dos limites de controlo como estando afastados 3 desvios padrão da linha central. Isto acontece, pois, esta definição corresponde a uma probabilidade de erro de tipo I de 0.0027%.

Caso algum ponto, marcado no gráfico, se encontre fora dos limites de controlo, obtém-se um sinal de que o processo em análise poderá estar fora de controlo devido à presença de causas assinaláveis da variação e devem ser tomadas ações corretivas.

O principal objetivo das cartas de controlo, quando aplicadas a parâmetros do processo, é uma rápida deteção da ocorrência de causas assinaláveis de variação, de modo a que seja aplicada ao mesmo uma correção antes da produção de unidades não conformes. Assim sendo, as cartas de controlo podem ser vistas como técnicas *online* de monitorização de processo e devem ser utilizadas no local do processo pelos operadores responsáveis pelo mesmo (Oakland 2008c).

As cartas de controlo podem ser utilizadas em dois contextos diferentes, denominados como fase I e fase II. A primeira fase é considerada uma fase *offline*, na medida em que é realizada uma análise do processo, em retrospectiva, com o intuito de determinar se o processo esteve em controlo, de modo a estabelecer os limites de controlo. Assim, normalmente, os dados são recolhidos e os limites de controlo experimentais são calculados com base nesses dados. No caso de serem identificados pontos fora de controlo, devem ser estudadas as causas originárias desses pontos e realizadas alterações no processo de modo a evitar a sua ocorrência. Após este processo, os pontos são retirados do gráfico e subsequentemente devem ser recalculados os limites de controlo experimentais. De seguida, devem ser recolhidos novos dados, comparando os novos limites com os limites calculados. Este processo deve ser repetido até os limites calculados e os recolhidos serem similares, significando assim que o processo se encontra em controlo estatístico, estando apenas presentes causas comuns de variação, tendo sido eliminadas todas as causas assinaláveis de variação (Montgomery 2013). Segundo Requeijo (2003), o principal objetivo desta fase de utilização das cartas de controlo consiste na estabilização do processo produtivo associado à determinação da média e variância do processo em análise. A segunda fase surge numa ótica de monitorização de processo. Neste ponto, os limites de controlo já se encontram definidos na fase anterior e o processo encontra-se estável. Assim,

sempre que surja um ponto fora dos limites, a sua origem deve ser investigada e eliminada, uma vez que indica a presença de causas assinaláveis de variação.

Outro dos fatores importantes relacionados com a utilização de cartas de controlo prende-se com a definição do tamanho da amostra e da frequência de amostragem, na medida em que amostras de maior tamanho facilitam a deteção de pequenas mudanças no processo. Idealmente realizar-se-iam amostras de grande dimensão muito frequentemente. No entanto, este processo iria requerer um elevado esforço humano e económico não sendo, por isso, viável. As tendências atuais da indústria tendem a favorecer tamanhos de amostra inferiores para controlos com elevadas frequências.

O número médio de ciclos de execução do processo sem paragens (em inglês *Average Run Length (ARL)*) é uma das propriedades que está diretamente relacionada com a frequência de amostragem e tamanho da amostra na medida em que a ARL consiste no número médio de pontos ilustrados antes que o gráfico sinalize uma situação fora de controlo. A ARL pode ser definida por:

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

Onde:

ARL: é o número médio de ciclos de execução do processo sem paragens

p: é a probabilidade de um ponto estar fora dos limites de controlo

Este parâmetro pode ainda ser desdobrado, no número médio de ciclos de execução do processo sem paragens quando o processo se encontra em controlo (ARL_0) e número médio de ciclos de execução do processo sem paragens quando o processo está fora de controlo estatístico (ARL_1). Para o ARL_0 , p representa o erro de tipo I, enquanto no ARL_1 , p representa o valor $1-\beta$ em que β significa erro de tipo II. Idealmente pretende-se que o ARL_0 , seja o maior possível de modo a evitar paragens desnecessárias no processo e que o ARL_1 seja o menor possível, com o intuito de garantir uma rápida deteção das alterações no processo.

Existe ainda uma métrica similar ao ARL, denominada tempo médio até obtenção de um sinal fora de controlo (em inglês *average time to signal (ATS)*), que indica o período de tempo até se obter erradamente um sinal de que o processo se encontra fora de controlo. O ATS pode ser calculado da seguinte forma:

$$ATS = ARL \times h \quad (2)$$

Onde:

ATS: é o tempo médio até se obter um sinal de que o processo se encontra fora de controlo

ARL: é o número médio de ciclos de execução do processo sem paragens

h: é o tempo, em horas, entre amostras sucessivas

As cartas de controlo podem ser de vários tipos, como será explicado no presente documento (ANEXO B), consoante sejam aplicáveis a variáveis ou atributos. A Figura 3 resume as principais cartas de controlo:

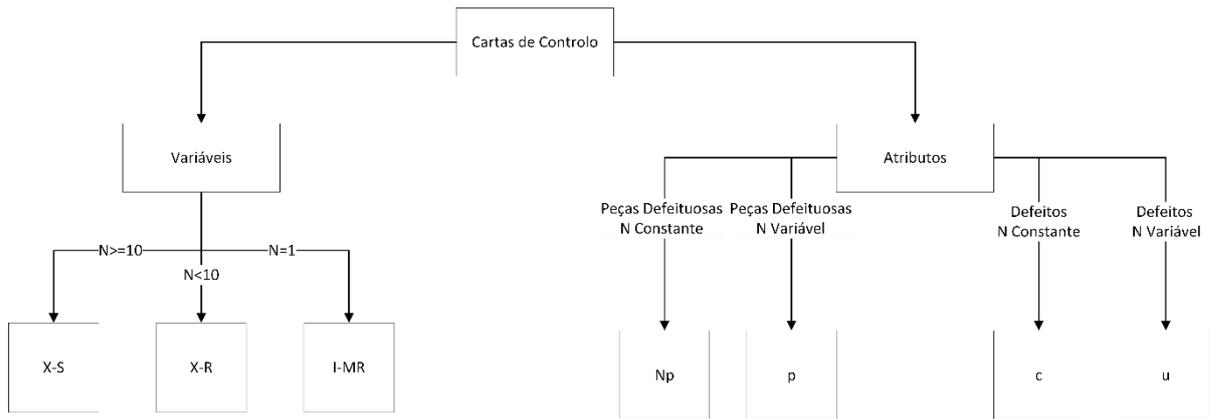


Figura 3: Esquema representativo das cartas de controlo.

As cartas de controlo ilustradas na Figura 3 são explicitadas em maior detalhe no ANEXO B. Estas permitem estabelecer o estado de controlo de um processo antes de se avaliar a sua capacidade.

2.4 Capacidade do processo

A capacidade do processo é uma medida estatística do quão bem um processo atende aos requisitos do cliente. Assim, é de extrema importância garantir que o processo está a funcionar de forma eficiente e a produzir peças de elevada qualidade. Desta forma, as medidas de capacidade do processo refletem a aptidão do processo em produzir peças que se encontram dentro das especificações. É importante rever os conceitos essenciais aos vários índices de capacidade de processo a saber, C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} . Excetuando indicação em contrário, as informações expostas nesta secção são baseadas em Montgomery (2013).

C_p

Um dos índices de capacidade de processo mais utilizados é o “ C_p ”, sigla para rácio de capacidade do processo, que pode ser calculado através de:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (3)$$

em que LSE e LIE representa, respetivamente, o limite superior de especificação e o limite inferior de especificação e $\hat{\sigma}$ representa o desvio padrão da amostra, já que o desvio padrão do processo (σ) é quase sempre desconhecido. O desvio padrão de curto prazo ($\hat{\sigma}$) pode ser calculado através das equações 4, dependendo do tamanho da amostra:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}; \hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}; \hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

O desvio padrão de curto prazo representa a variação devida a causas comuns de variação e é usado para calcular os limites de controlo.

O índice C_p assume que a característica de qualidade segue uma distribuição normal, que o processo se encontra sob controlo estatístico e que a média do processo se encontra centrada entre os limites de especificação. Este índice pode ser também denominado de capacidade potencial do processo.

No caso de existir apenas LSE ou LIE o C_p deve ser calculado através de:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \text{ no caso de apenas existir LSE} \quad (5)$$

$$C_{pl} = \frac{\hat{\mu} - LIE}{3\hat{\sigma}}, \text{ no caso de apenas existir LIE} \quad (6)$$

Os valores mínimos recomendados de capacidade de processo são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Valores mínimos recomendados de Cp

	LSE e LIE	Apenas LSE ou LIE
Processos Existentes	1,33	1,25
Novos Processos	1,5	1,45
Parâmetros críticos de processos existentes	1,5	1,45
Parâmetros críticos de novos processos	1,67	1,6

C_{pk}

Uma vez que o índice de capacidade do processo não tem em consideração a posição relativa da média face aos limites de especificação, e permite que uma característica com uma distribuição cuja média se encontre fora destes limites possua o mesmo valor do índice que uma característica cuja média da distribuição esteja completamente centrada (Figura 4), é utilizado um outro índice denominado C_{pk}.



Figura 4: Exemplo da relação entre Cp e Cpk (Fonte: Montgomery 2013)

Este índice de capacidade de processo pode ser obtido através da equação 7:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (7)$$

Assim, este índice tem em consideração a posição da média da distribuição, face aos limites de especificação. Se $C_{pk} = C_p$ o processo está centrado no ponto médio dos limites de especificação e se $C_{pk} < C_p$ o processo está descentrado. Desta forma, C_{pk} representa a capacidade atual do processo e C_p representa a capacidade potencial do processo.

Um valor de C_{pk} inferior a 1 significa que devido à magnitude da variação e exatidão do processo, pelo menos 1 dos limites de especificação irá ser excedido (Oakland 2008a).

P_p

O índice P_p representa a performance do processo assumindo que a média da distribuição da característica controlada se encontra centrada nos limites de especificação. O valor deste índice pode ser calculado através de:

$$\hat{P}_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (8)$$

sendo que s pode ser denominado por desvio padrão de longo prazo, uma vez que considera a variabilidade existente dentro e entre amostras. Este desvio padrão não deve ser utilizado para calcular limites de controlo. Assim sendo, o valor de s é obtido através da fórmula 9:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (9)$$

Note-se que caso o processo se encontre estável o valor de s aproxima-se ao valor de $\hat{\sigma}$.

P_{pk}

Tal como C_{pk} , o P_{pk} representa a performance atual do processo, tendo em conta a distância relativa da média da distribuição da característica controlada aos limites de especificação. O seu valor pode ser obtido através das seguintes equações 10 a 12:

$$P_{pu} = \frac{LSE - \hat{\mu}}{3s} \quad (10)$$

$$P_{pl} = \frac{\hat{\mu} - LIE}{3s} \quad (11)$$

$$P_{pk} = \min (P_{pu}, P_{pl}) \quad (12)$$

A indústria automóvel desempenhou um papel pioneiro na origem e desenvolvimento dos índices de capacidade e performance do processo, estabelecendo referências fundamentais para avaliar a qualidade e eficiência da produção ao longo do tempo (Montgomery 2013).

2.5 Qualidade 4.0

Conforme anteriormente exposto o conceito de qualidade evoluiu ao longo do tempo. A evolução do conceito estendeu-se também aos *standards* e a forma de medição da qualidade. Foi o resultado destas evoluções que culminaram no conceito de qualidade 4.0, que é considerado o mais recente estado evolucionário deste termo tão importante.

Note-se que exceto referência em contrário, as informações expostas nesta secção são baseadas em Sader et al. (2022). Os autores mencionados realizam uma análise da bibliografia existente no que concerne a qualidade 4.0 na tentativa de definir este termo, e explicitar quais as suas principais ferramentas e aplicações.

Qualidade 4.0 pode ser interpretada de duas formas distintas: pode ser vista como sendo o resultado da evolução do conceito de qualidade, sendo esta a fase mais recente, ou pode ser considerada como sendo apenas o efeito que a Indústria 4.0 teve no controlo de qualidade.

Sader et al. (2022) definem qualidade 4.0 como sendo uma aproximação a gestão de qualidade, na qual as mais recentes tecnologias são integradas com as técnicas tradicionais de controlo de qualidade, provocando um aumento de eficiência e desempenho nas atividades relacionadas com o controlo de qualidade. Esta abordagem é assim uma proposta híbrida entre as 2 interpretações anteriormente mencionadas, na medida em que considera a influência da Indústria 4.0 na gestão de qualidade, mas reconhece que qualidade é uma atividade independente que requer profissionais instruídos.

Os mesmos autores apresentam ainda as principais ferramentas de qualidade 4.0 como sendo inteligência artificial, *Big Data*, *blockchain*, *deep learning*, *enabling technologies*, *machine learning* e ciência de dados. Estas ferramentas podem ainda ser agrupadas em quatro categorias distintas, nomeadamente: *Big Data*, conectividade, colaboração e apresentação de dados.

Reis e Gins (2017) apresentam três fases distintas do controlo estatístico de processo: deteção, diagnóstico e prognóstico. A fase deteção é apresentada como sendo a finalidade que o controlo estatístico de processo possuía no passado, já que apenas era assinalada a presença ou ausência

de causas assinaláveis de variação, sendo o principal objetivo a obtenção da melhor capacidade de deteção possível.

O presente do controlo estatístico de processo consiste no diagnóstico das falhas ocorridas no processo. Os autores propõem duas metodologias distintas para a realização da fase de diagnóstico: NISA (*Network Inference Structured Approaches*) e CBA (*Classification-based Approaches*), partindo ambas da análise de dados. A primeira metodologia mencionada consiste na análise das correlações parciais das diferentes variáveis monitorizadas, e construção de um modelo preditivo para cada uma delas. Por outro lado, CBA utiliza dados históricos de falhas que já tenham sido diagnosticados, sendo aplicados a esses dados técnicas de *machine learning* de modo a construir um modelo que permita categorizar falhas futuras.

Reis e Gins (2017) referem ainda que o futuro da utilização de CEP está relacionado com a previsão das falhas que poderão vir a acontecer, permitindo assim a elaboração de planos de manutenção preventiva, o que levará à prevenção de produção de peças defeituosas. Para a utilização da capacidade preditiva de CEP será necessária a implementação de bases de dados conjuntas com dados de manutenção e do processo e uma otimização conjunta do CEP e dos processos de manutenção dos equipamentos. Esta capacidade preditiva permite ainda a integração das ferramentas de qualidade 4.0, como por exemplo, técnicas de *machine learning* que, através dos indicadores recolhidos, conseguem indicar com precisão quando irão ocorrer as próximas falhas.

Sader et al. (2022) dividem ainda as possíveis aplicações de qualidade 4.0. Este conceito pode ser aplicado em praticamente todos os ramos da indústria, nomeadamente manufatura, investigação e desenvolvimento, serviços, aquisições, logística e vendas e processo de tomada de decisão.

Assim, qualidade 4.0 revela-se como um fator essencial para garantir o sucesso das empresas a longo prazo, na medida em que apresenta inúmeros benefícios para as mesmas. Javaid et al. (2021) apresenta as principais vantagens que qualidade 4.0 pode trazer a um negócio, nomeadamente:

- Automatizar o processo de inspeção;
- Reduzir os custos de qualidade;
- Melhorar o controlo de qualidade;
- Melhorar o processo de investigação e desenvolvimento;
- Aumentar a eficiência da organização;
- Aumentar a performance de um produto;
- Facilitar a transmissão da cultura da empresa;
- Agilizar todos os processos de qualidade;
- Realinhar as funções de qualidade;
- Redesenhar os processos de produção;
- Produzir novos produtos;
- Controlar as operações;
- Monitorizar o processo continuamente;
- Alertar automaticamente condições indesejadas;
- Detetar defeitos;
- Assegurar qualidade.

No entanto, apesar das inúmeras vantagens que qualidade 4.0 acrescenta a qualquer empresa, Sader et al. (2022) destacam alguns dos desafios que a transição para esta nova perspetiva de qualidade pode trazer.

O primeiro dos desafios destacados está relacionado com os recursos humanos, na medida em que sistemas de qualidade mais sofisticados irão necessitar de pessoas com maiores

qualificações e competências de modo a serem corretamente aplicados e utilizados. Por outro lado, a implementação desta transição deve ser realizada pela equipa de qualidade e não pelas equipas tecnológicas, como geralmente acontece, causando assim desafios na organização da empresa. A última dificuldade mencionada pelos autores referidos prende-se com aspetos tecnológicos, já que para uma transição bem-sucedida é necessária uma elevada quantidade de dados, assim como boas infraestruturas de rede.

Em suma, qualidade 4.0 representa o presente e o futuro no que respeita à qualidade dos produtos e serviços disponibilizados por qualquer empresa. A digitalização de qualidade deve ser considerada uma questão organizacional e deve ser suportada por bases de dados cujas análises permitam fornecer informações que facilitem tomadas de decisão assertivas no que concerne à qualidade do produto oferecido.

2.6 Engineering Process Control

Paralelamente ao CEP existem outras ferramentas que permitem a otimização do processo produtivo com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos fabricados. Uma dessas técnicas é o *Engineering Process Control*, usado em processos contínuos como uma tentativa de redução da variabilidade. Ressalva-se que toda a informação apresentada neste capítulo é baseada em Montgomery (2013).

Uma vez que tanto *Engineering Process Control* como o CEP tem como principal objetivo a redução da variabilidade existente no processo produtivo, ambos os conceitos são muitas vezes utilizados em conjunto, o que pode provocar algum tipo de confusão sobre a génese de ambos. Desta forma, na Tabela 3 pode ser observada uma comparação entre as duas técnicas de redução de variabilidade.

Tabela 3: Diferenças entre CEP e *Engineering Process Control* (Fonte: Montgomery 2013)

Controlo Estatístico de Processo	<i>Engineering Process Control</i>
Reduz a variabilidade através da identificação de causas assinaláveis de variação	Reduz a variabilidade através da compensação e regulação de variáveis do processo
Utilizado na manufatura de partes discretas	Utilizado em processos contínuos
Similar a um teste de hipóteses	Baseado na estimação de parâmetros

Torna-se assim perceptível que as técnicas podem ser utilizadas em conjunto de modo a reduzir a variabilidade do processo produtivo, uma vez que ambas atuam de forma diferente na tentativa de obter o mesmo resultado. CEP, uma técnica de monitorização do processo, tenta reduzir a variabilidade do mesmo através da identificação, e posterior eliminação, de causas assinaláveis de variação, recorrendo para isso a cartas de controlo. No entanto, o CEP nem sempre consegue identificar e remover todas as fontes de variabilidade existentes. Daí advém a necessidade da introdução da técnica de *Engineering Process Control*, como uma tentativa de eliminação da variabilidade remanescente.

Engineering Process Control consiste numa técnica de ajuste do processo produtivo, utilizada principalmente em processos de produção contínua (como por exemplo na indústria química), de modo a aproximar o processo do seu objetivo. Com o intuito de redução de variabilidade, *Engineering Process Control* baseia-se numa metodologia de *Feedback Adjustment* de modo

a ajustar o processo e aproximar o mesmo dos valores desejados. Esta técnica pode ser resumida nos seguintes passos:

1. Previsão da próxima observação do processo;
2. Verificação das variáveis passíveis de serem manipuladas de modo a afetar o *output* do processo;
3. Determinação do efeito da variável manipulada no *output* do processo de modo a determinar qual o ajuste que deve ser aplicado;
4. Ajustar a variável selecionada de modo a que a próxima observação do processo apresente os valores desejados.

Desta forma torna-se evidente que *Engineering Process Control* não apresenta nenhum tipo de tentativa de identificação de causas assinaláveis de variação, reagindo apenas a mudanças no processo. O ajuste contínuo do processo produtivo, base do *Engineering Process Control*, tem o objetivo de manter o processo nos valores desejados.

Montgomery (2013) sugere uma metodologia que visa a utilização conjunta de ambas a técnicas mencionadas de modo a reduzir o máximo possível de variabilidade no processo produtivo. Esta metodologia encontra-se esquematizada na Figura 5.

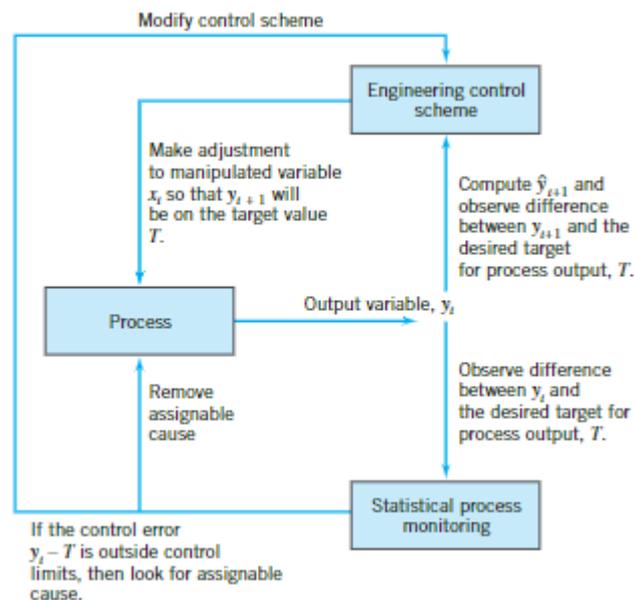


Figura 5: Metodologia para a utilização conjunta de CEP e *Engineering Process Control* (Fonte: Montgomery 2013)

3 Situação Inicial

O presente capítulo tem como objetivo dar a conhecer o processo de fabrico de rolhas microaglomeradas, existente nas diversas fábricas da Amorim Cork. Cada uma das etapas do processo será explicada detalhadamente, desde a trituração da cortiça até à embalagem das rolhas. Neste capítulo serão também apresentados os equipamentos utilizados para a realização de controlos do processo, assim como os controlos que são atualmente realizados na Amorim Cork. Será também realizada uma comparação entre o novo e o antigo software de CEP. Por último, propor-se-á uma metodologia para a implementação do referido software nas fábricas da Amorim Cork.

3.1 Apresentação do Processo Produtivo

O processo produtivo da DeSousa é o mais simples das 4 unidades industriais nas quais o EPC foi implementado. Deste modo, apenas este processo será descrito e analisado no presente documento. O fluxograma presente na Figura 6 ilustra o processo produtivo da DeSousa.

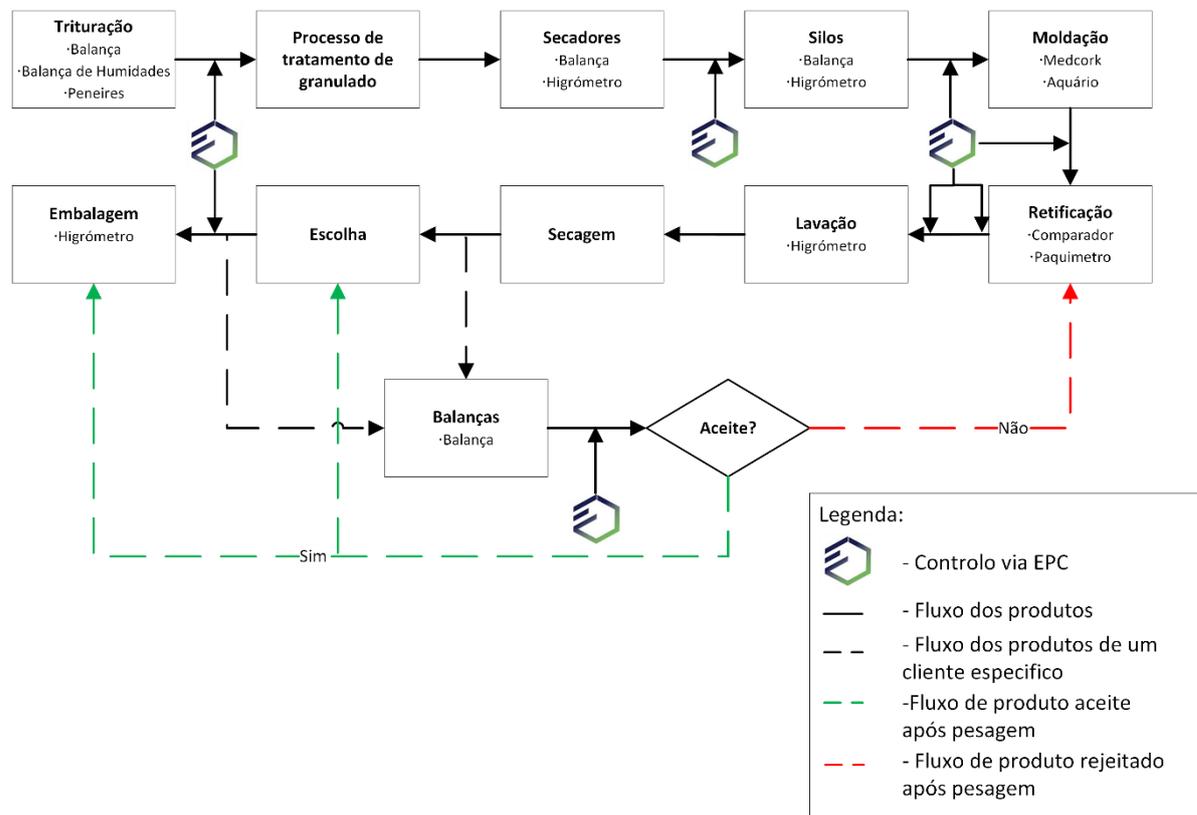


Figura 6: Fluxograma ilustrativo do processo de produção da DeSousa

Os processos aos quais são realizados controlos têm a indicação de quais são os equipamentos utilizados nesse mesmo controlo. As etapas assinaladas na figura como sendo alvo de controlo foram, numa fase inicial, selecionadas pela equipa de controlo de processo da DeSousa como sendo críticas para a introdução do EPC de modo a estabilizar o processo produtivo em cada uma delas. No entanto, no futuro, a utilização deste software poderá ser aplicada a mais etapas do processo produtivo com o mesmo intuito.

Importa, primeiramente, explicitar a distinção entre granulado, corpos aglomerados e rolhas. O granulado é o resultado do processo de trituração no qual a cortiça é triturada em pequenos grãos, de tamanho variável. Os corpos formam-se a partir do granulado na etapa de moldação

e consistem em cilindros compostos por cola e granulado, que irão dar origem a rolhas. Rolhas são o produto final do processo de retificação, sendo obtidas através dos corpos após serem retificados ao comprimento e diâmetro, existindo ainda a possibilidade de serem chanfrados nos topos.

Trituração

O processo de trituração é uma das etapas fundamentais na produção de rolhas técnicas na fábrica DeSousa. É neste processo que a matéria-prima, denominada por aparas (Figura 7), é transformada em granulado que irá posteriormente ser utilizado na produção de rolhas para vinhos tranquilos e vinhos espumosos.



Figura 7: Aparas de cortiça, à esquerda, e cortiça de baixa qualidade, à direita

Este processo inicia-se com a alimentação de aparas de cortiça, que consiste nas sobras do processo de brocagem envolvido na produção de rolha natural (Figura 7), e em pranchas de cortiça de baixa qualidade (Figura 7), ao moinho MDT (Figura 29 do ANEXO C) no qual a cortiça é triturada em peças de tamanho inferior. As matérias-primas são provenientes não só das outras fábricas da Amorim Cork, mas também, devido à elevada necessidade de produção de granulado, adquiridas a fornecedores externos.

Posteriormente, a cortiça resultante do processo de trituração é peneirada de modo a separar dos grãos de cortiça outros materiais, como terra e materiais metálicos, que são indesejáveis na produção de rolhas técnicas. Após esta limpeza, o produto resultante é novamente peneirado para ser realizada uma separação por tamanhos de grão de modo a alimentar os moinhos K800 que irão moer os grãos de cortiça de forma a diminuir o seu tamanho para os tamanhos que são utilizados no processo produtivo.

Após esta moagem os grãos seguem para as mesas densimétricas nas quais são separados por tamanho de grão, sendo também aí retirada a costa (parte exterior da prancha de sobreiro) que possa ter passado nos peneiros. No final deste processo são obtidos 3 produtos diferentes: granulado RCT, granulado RN e granulado RA.

O granulado RCT tem um tamanho de grão entre 3 e 7 milímetros (Figura 8) e é usado na produção de rolhas aglomeradas. Uma vez que a DeSousa não produz este tipo de rolha, este material é encaminhado para a Champcork. Por sua vez, a Equipar e a Socori utilizam este granulado para produção própria.

O granulado RN tem um tamanho de grão que varia entre os 0.5 e os 2 milímetros (Figura 8) e este sim é utilizado no processo de produção da DeSousa, tal como acontece na Equipar e na Socori.

O granulado RA, cujo tamanho de grão varia entre os 2 e os 3 milímetros não é utilizado na produção de rolhas da DeSousa.

Ao longo do processo descrito são ainda gerados alguns subprodutos, que, devido à elevada massa volúmica, não podem ser utilizados no processo de produção de rolhas e como tal são vendidos a outras empresas do grupo Corticeira Amorim.



Figura 8: Granulado RCT, à esquerda, e granulado RN, à direita

O processo de trituração pode ser considerado um processo contínuo, uma vez que durante o processo de transformação da aparca em granulado, este não é dividido em lotes. Apenas no final do processo são gerados lotes, sendo que o lote do granulado RCT muda consoante o camião que irá transportar o granulado até ao cliente deste produto, e o lote do granulado RN apenas é alterado com a mudança de dia.

Processo de tratamento de granulado

O segundo passo no processo de produção de rolhas técnicas na DeSousa é o processo de tratamento de granulado, que consiste num sistema de controlo de vapor desenvolvido pela Amorim Cork, que funciona à base de vapor de água e altas temperaturas e pressões e permite eliminar o TCA (Tricloroanisol, $C_2HCl_3O_2$). Este composto presente na cortiça é um dos principais fatores responsáveis pelo problema associado ao mofo encontrado na cortiça, facto que constituiu um enorme problema nas indústrias de rolhas de cortiça na década de 1990. As rolhas de cortiça em contacto com o vinho, transmitem esta molécula, conferindo à bebida um sabor diferente, denominado na gíria como “sabor a rolha”.

Assim, com o objetivo de reduzir a quantidade de TCA na ordem dos 80 a 90 %, o granulado RN passa neste sistema de tratamento térmico, antes de ser efetivamente utilizado no processo produtivo.

Secadores

Dado que o processo de tratamento de granulado envolve a injeção de vapores de água, que resulta na humedificação do mesmo, é necessário que este passe por um secador antes de ser armazenado e posteriormente utilizado no processo produtivo.

Silos

Já seco, o granulado RN é enviado para silos de estabilização onde fica armazenado até à sua utilização no setor da moldação. Uma vez estabilizado, o granulado segue para os silos de alimentação onde fica armazenado até à sua introdução no processo produtivo. De referir que há um silo especial dedicado exclusivamente a granulado proveniente do CTC (Centro de Tratamento de Cortiça). Este granulado, geralmente adquirido a fornecedores externos, é enviado para o CTC de modo a receber um tratamento com fluidos supercríticos que irá erradicar por completo o TCA. O granulado em questão é utilizado para produzir rolhas técnicas

de qualidade superior com um conseqüente preço mais elevado, pelo que não pode ser misturado com o granulado que não recebeu o mesmo tratamento.

Moldação

A moldação é uma das principais etapas na produção de rolhas técnicas. Este processo consiste na transformação do granulado de cortiça, neste caso o RN, em corpos aglomerados cilíndricos, que irão, numa fase posterior do processo, dar origem a rolhas.

Consoante a ordem de fabrico, os silos vão abastecendo as moldadoras, equipadas no seu topo com um misturador, onde o granulado é misturado com resina, lubrificantes e antioxidantes de modo a garantir boa moldabilidade e resistência.

A mistura é, de seguida, transferida para uma parte inferior da moldadora e prensada a elevadas condições de pressão e temperatura antes de ser vertida para os moldes de teflon que são constituídos por 2 cilindros que encaixam um no outro criando uma cavidade cilíndrica de forma semelhante a uma rolha. Os moldes são levados a um forno, no qual a mistura é sujeita a altas pressões o que provoca a fundição das partículas de resina e cortiça, dando assim origem aos corpos cilíndricos.

Após este processo, e com o objetivo de permitir a estabilização da humidade e dimensões, os corpos repousam durante cerca de 48h, antes de poderem ser encaminhados e utilizados nas demais fases do processo produtivo.

Retificação

Nesta fase, os corpos moldados dão origem a rolhas com aspeto muito semelhante ao seu aspeto final. O primeiro passo da etapa de retificação, também designada como acabamentos mecânicos, é o processo de ponçamento, no qual a rolha é rebarbada até adquirir um diâmetro próximo do final. Seguidamente ocorre o processo de topejamento, que consiste no corte das rolhas com recurso a uma serra circular que permite realizar a remoção do excesso de cortiça, conferindo à rolha o calibre desejado.

O passo seguinte consiste no chanframento, no qual, tal como o próprio nome indica, a rolha é chanfrada nos topos, de modo a facilitar a sua inserção na garrafa. Por fim, a superfície de cada rolha é nivelada e uniformizada, processo este conseguido através de uma série de cabeças rotativas existentes na retificadora, que contêm pedras abrasivas que giram a alta velocidade, e, quando em contacto com a rolha, removem qualquer tipo de irregularidades ou marcas que possam estar presentes. Aqui a rolha adquire a sua dimensão final, não sofrendo mais nenhuma alteração dimensional.

Lavação

A etapa subsequente à retificação é a etapa de lavação. Após a retificação as rolhas são carregadas para um silo de abastecimento intermédio que é, posteriormente, descarregado para o tambor de lavação. Neste tambor de lavação as rolhas são lavadas com uma solução de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) que, consoante a quantidade utilizada, lhes confere a tonalidade pretendida. Após este processo, que dura cerca de 140 minutos, as rolhas são aspiradas para um silo de descarga.

Esta é uma das etapas críticas do processo, uma vez que o mesmo permite a remoção de impurezas e resíduos que possam estar presentes nas rolhas resultantes dos passos anteriores. Na DeSousa são realizados 3 tipos de lavação diferentes: CLR, CL0 e CL2000 (Figura 9).



Figura 9: Da esquerda para a direita, rolhas com lavação CL0, CL2000 e CLR.

Tal como é possível observar na Figura 9, a lavação CLR confere à rolha uma tonalidade próxima à da cerveja, a lavação CL0 deixa a rolha com um tom próximo da cor natural da mesma e a lavação CL2000 produz na rolha um tom esbranquiçado.

Secagem

A secagem é o processo que se segue à lavação. O objetivo desta etapa é a remoção da humidade presente nas rolhas como resultado do processo de lavação, de modo a que as mesmas possam ser armazenadas, evitando o aparecimento de fungos e/ou bactérias que possam prejudicar a qualidade da rolha.

Assim, após a descarga das rolhas do silo de descarga, as mesmas são colocadas numa estufa de secagem com temperatura e humidade controladas de modo a acelerar o processo de remoção de humidade.

Escolha

A penúltima etapa do processo consiste na escolha eletrónica das rolhas. Nesta fase as rolhas são alimentadas para máquinas que detetam defeitos existentes nas rolhas, resultantes dos passos precedentes. Nesta fase são detetados defeitos visíveis, tais como fendas, pequenos orifícios, manchas ou deformações, resultando na separação das rolhas boas das rolhas com defeitos e garantindo que apenas rolhas de perfeita qualidade são fornecidas ao cliente. As rolhas consideradas defeituosas são enviadas novamente para a retificação, sempre que for possível rebaixar as mesmas a um calibre inferior, reduzindo assim o desperdício de matéria-prima.

Balanças

No caso de clientes cujas especificações de massa sejam mais rígidas e dependendo da decisão dos planeadores, após a lavação ou a escolha, as rolhas do lote são pesadas uma a uma com o intuito de determinar se a massa das mesmas cumpre ou não as especificações pretendidas. Assim, considerando a massa de cada rolha, as balanças classificam-nas como “OK” e “NÃO OK”, separando-as para contentores distintos.

O controlo de qualidade das rolhas produzidas da DeSousa passa também por uma verificação de uma amostra em laboratório. Nos casos em que as rolhas analisadas possuam um valor de massa volúmica fora dos limites definidos, as rolhas do lote ao qual a amostra pertence são enviadas para as balanças de modo a segregar o produto conforme do produto não conforme.

As rolhas consideradas válidas seguem para a etapa de escolha ou embalagem, consoante tenham sido pesadas após a secagem ou após a escolha, enquanto as rolhas que excedem a especificação definida poderão ser rebaixadas na retificação, sendo usadas para satisfazer outras ordens de produção.

Embalagem

A etapa final do processo de produção da DeSousa é a embalagem. Na fase inicial desta etapa todas as rolhas transitam para uma máquina que deteta a presença de metais na rolha. No caso de deteção positiva essa rolha é segregada das restantes.

Após o descarte da presença de substâncias metálicas nas rolhas as mesmas são embaladas. Na DeSousa são usadas 3 opções de embalagem: saco de ráfia, *big bag* e caixa. A diferença entre as 3 opções reside na capacidade de cada uma e do modo como são embalados, sendo o *big bag* a embalagem com maior capacidade e a caixa a embalagem com menor capacidade.

No caso dos sacos de ráfia ou *big bag*, o embalamento é realizado com recurso a máquinas de contar rolhas que colocam uma quantidade exata de rolhas em cada recipiente. Já para o embalamento em caixas, DeSousa possui 2 inovadores robôs que distribuem individual e espacialmente cada rolha na caixa de modo a garantir a otimização máxima do espaço, reduzindo, assim, substancialmente, os custos de transporte.

Note-se que este é o único ponto do processo em que a DeSousa possui uma produção do tipo *make-to-order*, sendo associada uma ordem de encomenda do cliente aos artigos a serem embalados, sendo que em outras unidades industriais do grupo é possível associar uma ordem de encomenda do cliente em fases mais prematuras do processo.

3.2 Equipamentos de Medição

Os equipamentos de medição são componentes fundamentais na implementação do novo software de SPC na Amorim Cork. Estes equipamentos auxiliam no processo de recolha de dados precisos que irão ser utilizados na produção de cartas de controlo com o intuito de verificar o estado de controlo do processo.

Balanças

As balanças são usadas nos controlos realizados nos setores de trituração, secadores e silos. Estes equipamentos possuem um cubo com 1 dm³ de capacidade de modo a que as medidas da massa de granulado obtidas sejam facilmente convertidas em massa volúmica. Estes equipamentos encontram-se diretamente conectados ao software de CEP permitindo, assim, a aquisição automática de valores. (Figura 42 do ANEXO C)

Balanças de humidade

As balanças de humidade são utilizadas no setor da trituração e têm como função medir a humidade presente numa amostra de granulado, sendo a medição realizada através de um processo de secagem e pesagem das amostras. Após a colocação da amostra de granulado na bandeja da balança, a mesma é sujeita a uma fonte de calor de forma a remover a água nesta presente. À medida que o granulado perde água, a balança regista a diminuição do peso da amostra. Após o granulado atingir o estado de equilíbrio a balança transmite ao sistema o teor de humidade calculado. Um valor ideal de teor de humidade de granulado nesta fase estaria na casa dos 8%. (Figura 43 do ANEXO C)

Higrómetros

Os higrómetros *AquaBoy* são utilizados com o mesmo objetivo das balanças de humidade, no entanto, enquanto as balanças de humidades apenas funcionam para granulado, o higrómetro consegue analisar tanto rolhas, como corpos, como granulado (com uma pequena adaptação) e é mais portátil do que uma balança, embora apresentando uma precisão inferior. (Figura 44 do ANEXO C)

Tal como as balanças, o higrómetro está diretamente conectado ao sistema de forma a realizar aquisição automática de valores. Este possui uma extensão com 2 extremidades pontiagudas que perfuram a rolha medindo assim a sua humidade. Já no caso de granulado, o mesmo é

colocado num recipiente existente no higrómetro que conecta diretamente ao topo deste. Este equipamento é utilizado nos controlos dos setores de trituração, secadores, silos, moldação, lavação e embalagem.

Medcork

O Medcork é um equipamento desenvolvido pela EGITRON que permite realizar o controlo dimensional (diâmetros e comprimentos), de massas volúmicas e de humidades e, tal como os equipamentos anteriores, realiza um registo automático dos valores medidos no sistema. Este aparelho é utilizado apenas no setor da moldação e no laboratório, não podendo ser utilizado com granulado. (Figura 45 do ANEXO C)

Paquímetros

Os paquímetros são utilizados no setor da moldação e acabamentos mecânicos e têm como objetivo auxiliar na medição de diâmetros e comprimentos no controlo dimensional de rolhas e corpos. (Figura 46 do ANEXO C)

Comparador

O comparador é um substituto dos paquímetros, sendo utilizado nos mesmos setores (Figura 47 do ANEXO C). Este equipamento possui um veio que, quando elevado, mede a distância relativa entre a sua extremidade e a base. Assim, é possível realizar a medição do diâmetro e comprimento das rolhas com uma maior precisão que o paquímetro, já que a força exercida é sempre a mesma.

Aquário

O Aquário é um equipamento que consiste num conjunto de prensas que imergem cada rolha em água e de seguida injetam um gás sob pressão de modo a avaliar a presença de fugas laterais e centrais na rolha. Este equipamento é apenas utilizado no setor da moldação. (Figura 48 do ANEXO C).

Peneires

Os peneires, utilizados no setor da trituração, consistem num conjunto de recipientes circulares agrupados verticalmente. Cada um destes peneires, à exceção do último, tem o fundo, como o próprio nome sugere e á semelhança de uma peneira, constituído por uma rede metálico cujo tamanho dos orifícios difere, sendo esta diferença a que permite filtrar o tamanho de grão de granulado, controlando cada recipiente o tamanho de grão pretendido. Assim, o granulado é depositado no primeiro peneire, cuja rede tem os orifícios de maior dimensão, e de seguida é verificado em qual destes ficou retido a maior parte do granulado, e assim sucessivamente. (Figura 49 do ANEXO C)

3.3 Descrição dos controlos realizados

Um dos grandes objetivos do CEP consiste na estabilização do processo produtivo. Como tal, é crucial a realização de controlos das características definidas como críticas, de modo a verificar se o processo se encontra numa situação de controlo estatístico.

De seguida serão apresentados os controlos realizados na fábrica DeSousa. De referir que todos os controlos mencionados já se encontravam em vigor antes da instalação do novo software de CEP, sendo, no entanto, alguns deles realizados em papel e não no antigo software de CEP, nomeadamente os controlos realizados desde o setor dos acabamentos mecânicos até ao setor da embalagem. A frequência e tamanho da amostra utilizada em todos estes controlos já se encontrava definida, não tendo sido realizada qualquer alteração com a introdução no EPC.

Trituração

No setor da trituração são controladas 4 características do granulado: massa volúmica, humidade, massa volúmica corrigida e tamanho de grão.

O controlo à massa volúmica é realizado de 2 em 2 horas, no caso do granulado RN, ou todas as horas no caso do RCT, com recurso a uma balança. Para este controlo, tal como para todos deste setor, são utilizadas as cartas de controlo I-MR, uma vez que estamos perante um processo contínuo. Tal como este, o controlo à humidade tem a mesma periodicidade, sendo ambos realizados em conjunto. Para este controlo são utilizadas as balanças de humidade.

O controlo à massa volúmica corrigida não tem periodicidade definida uma vez que resulta de uma correção que é aplicada à massa volúmica controlada, de modo a verificar qual seria o valor desta, caso a mesma se encontrasse ao valor ideal de 8% de humidade. A fórmula 13 é utilizada para corrigir o valor da massa volúmica:

$$MVC = MV - (MV \times (Hum - 8) \times 0.01) \quad (13)$$

Onde:

MVC: é a massa volúmica corrigida

MV: é a massa volúmica

Hum: é a humidade

O último controlo que é realizado neste setor diz respeito à granulometria. Este controlo é realizado com recurso a peneiras apenas uma vez por dia a cada um dos produtos (RN e RCT) resultantes da trituração sendo registada pelos operadores a percentagem de granulado que fica retida em cada um dos peneiros.

Secadores

Neste setor são controladas a temperatura e humidade do granulado após a saída do secador. Nos controlos mencionados são utilizadas as cartas de controlo I-MR e cada um dos controlos é realizado 3 vezes por turno de 8 horas. Assim, é possível relacionar a humidade do granulado tratado com a temperatura do secador, estabelecendo desta forma uma relação causa-efeito entre ambas. Esta relação permite então ajustar a temperatura do secador quando, no fim do processo, o granulado possua um valor de humidade diferente do pretendido.

Silos

Nos silos, à exceção da granulometria, são igualmente controladas as características do granulado já descritas na trituração e o controlo ocorre apenas uma vez por turno. Uma vez que o produto controlado ainda se encontra em fase de granulado, as cartas de controlo utilizadas correspondem às cartas I-MR.

Moldação

A moldação é o setor onde o maior número de características é controlado. Nesta etapa são realizados controlos dimensionais, nomeadamente ao comprimento e diâmetro dos corpos, controlos de humidade, massa volúmica, massa e vedação.

O dispositivo “Medcork” é responsável pela obtenção automática das medições de todas as variáveis acima mencionadas, à exceção do controlo de vedação que é realizado no aquário. Estes controlos utilizam as cartas de controlo \bar{X} -R, com um tamanho de amostra correspondente a 10 unidades. Todos os controlos são realizados em simultâneo e acontecem 2 vezes por turno a cada uma das moldadoras, perfazendo um total de 60 rolhas diárias por moldadora, totalidade esta já pré-definida. Neste caso, a massa volúmica é calculada, e não medida, através da equação 14:

$$Massa\ Vol\acute{u}mica = \left(\frac{Massa * 0.001}{3.14 \times \left(\left(\frac{Di\grave{a}metro}{1000} \right)^2 \right) \times \left(\frac{Comprimento}{1000} \right)} \right) \quad (14)$$

O controlo de vedação realizado no aquário tem como propósito a deteção de fugas laterais e centrais nos corpos moldados. Apesar de se realizarem ambos os controlos, apenas o controlo de fugas centrais determina a reprovação do controlo realizado. Neste caso, é utilizado um tamanho de amostra de 6 corpos, sendo realizado apenas um controlo por dia. Uma vez que o resultado da análise de cada um dos corpos pode apenas tomar 2 valores, sendo eles “OK” e “NOK”, é utilizada uma carta para atributos P.

Retificação

No setor da retificação são controladas apenas características dimensionais das rolhas designadamente o comprimento, o diâmetro e a ovalidade. O comprimento e o diâmetro são medidos com recurso a um comparador enquanto a ovalidade é calculada a partir do diâmetro.

O controlo do diâmetro e comprimento é realizado a cada 2 horas, sendo recolhida uma amostra de 2 unidades. De modo a ilustrar o estado do processo são utilizadas cartas de controlo \bar{X} -R. No caso do diâmetro são realizadas 2 medições à mesma rolha (este método apresenta alguma variabilidade entre operadores, como é apresentado na Tabela 4) rodando a mesma 90° de modo a medir dois locais diferentes sendo de seguida calculado o diâmetro médio. Esta redundância de medições é realizada por forma a determinar a ovalidade da rolha. A ovalidade é calculada com recurso à fórmula 15:

$$Ovalidade = |Di\grave{a}metro\ 1 - Di\grave{a}metro\ 2| \quad (15)$$

Até ao momento da implementação do novo software de CEP este controlo era realizado em papel, sendo apenas registado o valor medido.

Lavação

Neste setor é realizado o controlo da humidade presente nas rolhas. Este controlo é realizado a partir de uma amostra de 5 rolhas de cada lote e não tem uma periodicidade definida uma vez que os produtos neste setor apresentam elevada variabilidade, sendo difícil prever quais os produtos sujeitos ao processo de lavação. Os resultados deste controlo são espelhados numa carta \bar{X} -R.

De ressaltar que o controlo da humidade é realizado antes do início da lavação e não na retificação de modo a evitar a sobrecarga dos operadores da retificação que, além do mais, não estão totalmente habilitados a realizar controlos de humidade e a utilizar higrómetros.

Salienta-se ainda que o controlo não é realizado após a lavação devido ao facto de as rolhas ainda se encontrarem húmidas e desta forma os valores medidos poderem não corresponder aos valores reais de humidade. Do mesmo modo, o controlo não acontece após a passagem pela estufa de secagem devido aos corpos não estarem ainda completamente estabilizados neste ponto do processo.

Tal como no processo anterior, até ao momento de instalação do EPC este controlo apenas servia como registo do valor de humidade medido.

Embalagem

O último controlo do processo ocorre no setor da embalagem. Neste setor o controlo de humidade é realizado com recurso a um higrómetro, imediatamente antes do empacotamento das rolhas. Tal como sucede no setor da lavação, não existe um plano de controlo definido devido à enorme variabilidade do tipo de produto a expedir. Assim sendo, são também retiradas 5 rolhas de cada um dos lotes e é utilizada uma carta de controlo \bar{X} -R.

Da mesma forma que a retificação e a trituração, o controlo à humidade das rolhas realizado nesta fase apenas funcionava como um registo do valor medido, não sendo calculados qualquer tipo de limites de controlo.

Balanças

Adicionalmente, é realizado um controlo à massa dos produtos que passam pelo setor das balanças. Este controlo é realizado uma vez por turno a cada 5 rolhas também. Para a visualização dos resultados do controlo é utilizada uma carta \bar{X} -R.

Todos estes controlos podem ser sumarizados na Tabela 4:

Tabela 4: Quadro resumo dos controlos realizados na DeSousa

Controlo	Processo	Característica	Equipamento	Frequência	Quantidade	Tipo de carta utilizado	Tipo de Produção
Controlo de Granulado	Trituração	Massa Volumica	Balança de Humidade	RN - 2 em 2 horas	1 dm3	I-MR	RN-Contínua RCT- Por Lote
		Humidade	Balança	RCT- 1 em 1 hora			
Granulometria	Trituração	Massa Volumica Corrigida		AD,BD,ADX,ADL- 3 vezes por turno de 12 horas	1 dm3	I-MR	Contínua
		Tamanho de Grão	Peneiras	RN,RCT- 1 vez por dia			
Controlo de Granulado	Secadores	Humidade	Higrómetro	3 vezes por turno, por secador	1 dm3	I-MR	Contínua
		Temperatura					
Controlo de Granulado	Silos	Massa Volumica	Balança de Humidade	1 vez por turno, por silo	1 dm3	I-MR	Contínua
		Humidade	Balança				
Controlo de Corpos	Moldação	Massa Volumica Corrigida		2 vezes por turno, por moldadora	10 corpos	X-R	Por Lote
		Comprimento					
		Diâmetro					
		Humidade	MedCork				
		Massa Volumica Corrigida					
Vedação	Moldação	Fugas Centrais		1 vez por turno, por moldadora	6 corpos	P	Por Lote
		Fugas Laterais	Aquário				
Controlo Dimensional de Rolhas	Retificação	Comprimento		2 em 2 horas, por linha de retificação	2 rolhas ou 2 corpos retificados e 1 ou 2 rolhas ou 2 corpos retificados	X-R	Por Lote
		Diâmetro	Paquímetro ou Comparador				
		Diâmetro Médio					
		Ovalidade					
Controlo de Humidade de Rolhas	Lavação	Humidade	Higrómetro	1 vez por lote	5 rolhas	X-R	Por Lote
Controlo de Humidade de Rolhas	Embalagem	Humidade	Higrómetro	1 vez por lote	5 rolhas	X-R	Por Lote
Controlo da Massa das Rolhas	Balanças	Massa	Balança	1 vez por turno	5 rolhas	X-R	Por Lote

Onde:

RN: é o granulado que será utilizado na produção de rolhas microaglomeradas;

RCT: é o granulado que será utilizado na produção de rolhas de champagne;

AD, BD,ADX,ADL: são os subprodutos de trituração utilizados noutras unidades industriais;

3.4 Comparação dos softwares de CEP

Tal como referido inicialmente, uma das grandes motivações deste projeto foi a substituição do software de CEP existente em quatro das fábricas do grupo Amorim Cork. A presente secção pretende identificar as diferenças entre o novo software e o previamente existente, com o intuito de transmitir a importância que a implementação deste programa pode ter concretamente nesta empresa.

O software escolhido pela Amorim para realizar o CEP foi o EPC - “*EGITRON Process Control*” - da EGITRON. A decisão da escolha deste software prendeu-se com o facto de a EGITRON ser o principal fornecedor dos equipamentos de controlo da Amorim Cork, facilitando desta forma a integração e compatibilidade dos mesmos com o novo software. Ressalve-se ainda que a escolha do software foi realizada antes do início deste projeto.

A metodologia seguida pela Amorim Cork para a seleção do novo software de CEP, segue as mesmas linhas gerais da metodologia que é sugerida por Montgomery (2013) (secção 2.2.4), ou seja, foi realizada uma priorização dos processos a serem controlados e foram definidas quais as variáveis a serem medidas. A definição das variáveis a controlar ditou quais as cartas de controlo a serem utilizadas. Após a seleção do software a utilizar na fábrica, foi realizado um teste piloto no setor da trituração de modo a confirmar que o software apresentava as potencialidades objetivadas.

Assim, o novo software oferece inúmeras vantagens face ao antigo programa denominado “SPC Pro”, também da EGITRON. As primeiras vantagens, que não se encontram diretamente relacionadas com a utilização do software, é o facto de ser um programa atual, com uma interface apelativa e o facto de o mesmo ter suporte por parte da empresa que o desenvolveu, garantindo o bom funcionamento de qualquer programa, facto que não acontecia com o software antecessor.

Além disso, o EPC oferece a possibilidade de cada utilizador ter o seu próprio *login*, algo que o antigo software não permitia. Esta possibilidade facilita a associação de eventuais comportamentos evidenciados nas cartas de controlo a cada operário ou turno, facilitando assim a identificação de fatores que possam originar tendências ou causas assinaláveis de variação. Além disso, é possível restringir os níveis de acesso de cada utilizador e associá-los apenas a uma secção, processo ou unidade industrial, facilitando assim a experiência de utilização. Esta funcionalidade é também nova, já que o anterior programa não permitia a criação de processos e secções. Às secções e processos da fábrica, é ainda possível a associação de planos de inspeção, sendo que estes podem ser associados às máquinas a controlar.

No que respeita à criação de planos, o EPC introduz também melhorias face ao programa anterior. Com o novo software é possível associar parâmetros de identificação (e.g. lote, ordem de fabrico, muda de lixa), que terão de ser preenchidos em cada controlo, garantido assim uma melhor rastreabilidade entre os valores controlados e as peças produzidas, facilitando a intervenção no processo. Com o intuito de auxiliar a intervenção no processo, quando um controlo é rejeitado, o operário, com base no seu conhecimento do processo, deverá selecionar uma causa provavelmente originária para o valores medidos, sendo que essa causa tem um conjunto de correções possíveis associadas que devem ser realizadas de modo a colocar novamente o processo num estado de controlo estatístico. Os planos de inspeção podem agora ser associados a grupos de artigos que possuam características similares, sendo criada uma carta de controlo individual para cada um deles.

No caso de um controlo ser rejeitado, o EPC permite gerar alarmes para os responsáveis, via notificação no sistema, email ou Microsoft teams, alertando-os que o processo se encontra fora de controlo estatístico e levando-os a assegurar tomadas ações que garantam a reposição de um estado de controlo

Outra funcionalidade do EPC, considerada bastante apelativa pela Amorim Cork, é o facto de este permitir a criação de um plano de trabalho por turno. Concretizando, no início de cada turno, um utilizador de cada secção deve abrir o turno e seleccionar quais as máquinas que irá utilizar ao longo do turno e quais os produtos que irão ser produzidos. O software irá gerar automaticamente um plano de trabalhos, que, consoante as frequências definidas e os planos de inspeção seleccionados, irá definir as máquinas e produtos que os operários devem controlar, com indicação da hora a que o controlo deve ser realizado. Desta forma, os operadores apenas poderão encerrar o turno quando todos os controlos forem realizados ou cancelados, sendo que o cancelamento está dependente da introdução de uma justificação. Assim, a equipa de controlo de processo consegue garantir que os controlos necessários serão realizados.

O novo software apresenta ainda uma melhoria no que respeita à visualização de cartas de controlo. O EPC permite a visualização de cartas de diferentes características em simultâneo. Esta possibilidade revela-se especialmente útil na análise e intervenção do comportamento de todos os parâmetros de um mesmo artigo.

Outra das novidades introduzidas pelo EPC é a possibilidade de criar grupos de artigos, e, posteriormente, associar os grupos criados a planos de inspeção. Esta possibilidade irá provocar uma alteração na visualização das cartas de controlo uma vez que introduz um fator de variabilidade entre grupos, nomeadamente o fator produto.

Resumindo, foram todas estas melhorias e progressos que levaram a Amorim Cork a substituir um programa obsoleto por um que gera dados fiáveis e a partir dos quais podem ser tomadas ações para controlar e otimizar todos os processos produtivos.

3.5 Introdução do novo software de CEP

Tendo em conta que o novo software de CEP irá ser introduzido em diversas fábricas do grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A., considerou-se de elevada importância o desenvolvimento de uma metodologia específica que facilite a introdução do mesmo no futuro. Note-se que a metodologia foi desenvolvida tendo em conta que o estado de implementação das cartas de controlo nas fábricas mencionadas se encontra ainda na fase I. A metodologia desenvolvida pode ser observada no fluxograma da Figura 10:

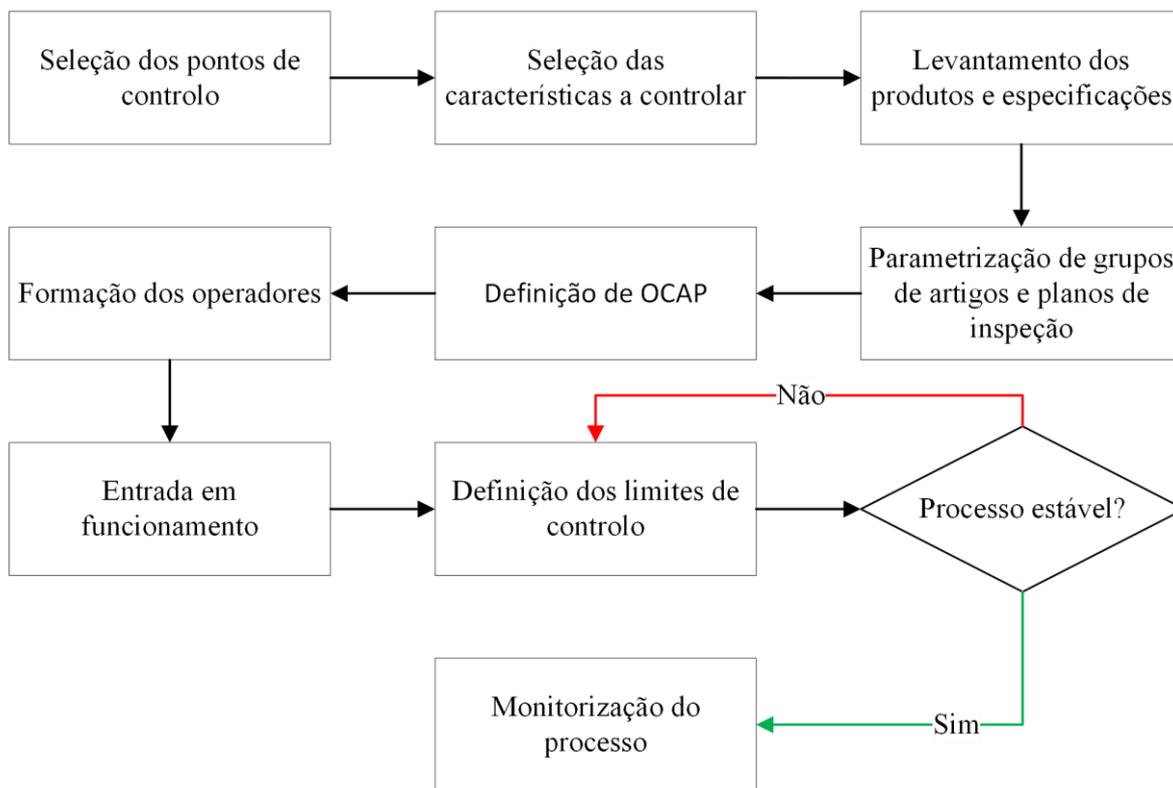


Figura 10: Metodologia para a introdução do software de CEP na Corticeira Amorim SGPS, S.A.

Fase 1- Conforme é observável na Figura 10 a primeira fase da metodologia desenvolvida compreende a determinação dos pontos de controlo no processo de fabrico de rolhas, nos quais irá ser realizado o controlo estatístico de processo. A decisão dos pontos de controlo é crucial e imperativa, pois apenas nos locais pré-selecionados será possível monitorizar o processo, reduzir a sua variabilidade e consequentemente evitar a produção de peças defeituosas, condicionando também todos os passos subsequentes. Numa fase inicial, a maioria das fábricas optou por introduzir o novo software apenas nos locais nos quais já eram realizados controlos do processo, quer por via do antigo software, quer em papel. A escolha dos pontos de controlo depende ainda dos recursos disponíveis para a instalação do software e, posteriormente, para a realização dos controlos.

Fase 2- A segunda fase consiste na seleção das características do produto, que devem ser controladas em cada um dos processos definidos, características estas que irão ditar as cartas de controlo a utilizar. Estas características são denominadas características críticas de qualidade (em inglês, *Critical-To-Quality, CTQ*) e podem ser de 3 tipos: físicas (e.g. massa, comprimento, largura), sensoriais (e.g. cor, aparência) ou relacionadas com o tempo (e.g. durabilidade, fiabilidade) (Montgomery 2013). As características selecionadas pela empresa em análise são maioritariamente físicas e sensoriais, variando consoante a fase do processo na qual o produto se encontra.

Fase 3- A terceira fase da metodologia proposta implica a seleção dos produtos que devem ser controlados em cada uma das fases do processo produtivo, sendo que no caso da Amorim Cork, todos os artigos produzidos são controlados. Embora idealmente, todos os artigos devessem ser controlados em cada uma das fases selecionadas no primeiro passo, a escassez de recursos poderá não permitir tal viabilidade. Neste caso, e sempre que possível, deve ser selecionado um conjunto representativo de artigos. Em simultâneo deverá também ser realizado um levantamento das especificações (neste caso internas) desses artigos, para cada uma das características definidas no passo anterior.

Fase 4- O passo seguinte envolve a definição dos grupos de artigos e dos planos de inspeção. A definição de grupos de artigos depende do software de CEP selecionado pela empresa. Neste caso, o EPC permite a realização do agrupamento de artigos com características e especificações similares, que torna possível a realização da análise conjunta dos mesmos, conforme mencionado na secção 3.4, facilitando também a tarefa aos operadores no momento da abertura de turno, uma vez que permite reduzir bastante o número de planos de inspeção. Um dos passos críticos para a introdução do software de CEP é a parametrização dos planos de inspeção.

Neste passo é realizada também a definição da frequência e tamanho de amostra que deve ser utilizada em cada um dos controlos. Esta decisão deverá ter em conta a quantidade produzida de cada produto em cada setor, de modo a que as amostras sejam representativas do comportamento do processo produtivo.

Fase 5- Nesta fase deve ser definido um OCAP (*Out of Control Action Plan*), isto é, uma descrição das atividades que devem ser realizadas quando um ponto é sinalizado como estando fora de controlo. Um OCAP é representado geralmente sob a forma de um fluxograma, e é constituído por *checkpoints*, que representam possíveis causas assinaláveis de variação, e *terminators*, que representam as ações a serem realizadas quando uma determinada causa é detetada. As cartas de controlo devem ser sempre acompanhadas por um OCAP, pois só desta forma é possível uma melhoria efetiva do processo produtivo. O OCAP inicial poderá ser alterado de acordo com a aquisição de informação acerca do processo produtivo (Montgomery 2013). No caso da Amorim Cork, o OCAP não é definido através de um fluxograma uma vez que o EPC permite a parametrização de causas (*checkpoints*) e correções (*terminators*). Assim, de cada vez que um controlo é rejeitado, o operador terá de seleccionar uma causa provável para o sucedido, de entre a lista disponível para o seu setor, com base na sua experiência. Após essa seleção, serão apresentadas possíveis correções que o mesmo deverá aplicar à máquina de forma a reverter o processo a um estado de controlo estatístico. Poderia eventualmente arguir-se que não é possível prever todas as causas assinaláveis de variação e como tal a lista fornecida não seria capaz de englobar todas as opções necessárias. Tal argumento é no entanto declinável, pois o EPC permite ao utilizador introduzir causas e correções além das listadas, ficando as mesmas registadas para futura inclusão no OCAP.

No caso de não ser possível repor o processo nos valores desejados através do OCAP, poderão ser utilizadas técnicas de *Engineering Process Control* descritas na secção 2.6, manipulando variáveis do processo de modo a obter o resultado pretendido. Este tipo de análise é um processo bastante exigente a nível analítico, sendo necessária a construção de funções que caracterizam o efeito que cada um dos parâmetros das máquinas irá ter no produto fabricado. De momento, a Amorim Cork está a desenvolver um protótipo, no setor da moldação, que irá realizar uma análise continua dos corpos, de modo a ajustar os parâmetros da máquina, para se obterem os valores desejados das características em análise.

Fase 6- Para que o software de CEP possa atingir a plenitude do seu potencial é fundamental a formação dos operadores não só no que respeita à utilização do novo software, mas também sobre a importância e funcionamento de controlo estatístico de processo. Uma vez que os operadores compreendam a importância do CEP, a taxa de cumprimento do controlo é potencialmente aumentada, tornando assim o processo de CEP mais efetivo. Durante esta formação deve ser realçada a importância que os operadores têm no processo assim como destacar o seu conhecimento sobre o funcionamento das máquinas e do processo em si. A importância do CEP deve ser denotada não só aos operadores, mas também à restante organização, incluindo os níveis hierárquicos superiores.

No que respeita à formação sobre o novo software, deverão ser realizadas várias sessões de acompanhamento, sendo que nos primeiros dias de utilização os operadores deverão ser acompanhados pela equipa de controlo de processo na realização dos controlos definidos.

Paralelamente deverão ser fornecidas normas de utilização do sistema, que poderão ser consultadas em caso de dúvida.

Fase 7- Estando concluída a parametrização do sistema e formação dos operadores poderá, então, ter lugar a entrada em funcionamento do novo software de CEP. Numa fase inicial da utilização do novo software poderão acontecer erros de medição e/ou introdução errada de dados no sistema pelo que a equipa de controlo de processo deverá estar atenta e proceder à eliminação desses registos de modo a evitar a presença de ruído no sistema que possa afetar o cálculo dos limites de controlo.

Fase 8- Uma vez que as fábricas do grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A. se encontram na fase I de utilização de cartas de controlo, os limites de controlo ainda não se encontram definidos com base em dados históricos, pelo que será necessária a recolha de dados do processo e posterior definição dos limites de controlo. Note-se que esta definição deve ser realizada de forma *offline*, uma vez que podem ser necessários vários ciclos até se obterem os valores finais. O momento de definição dos limites de controlo varia consoante o processo em análise e o tipo de cartas de controlo que devem ser utilizadas. A Figura 11 é resultado de um estudo que relaciona o número de amostras com a definição dos limites de controlo.

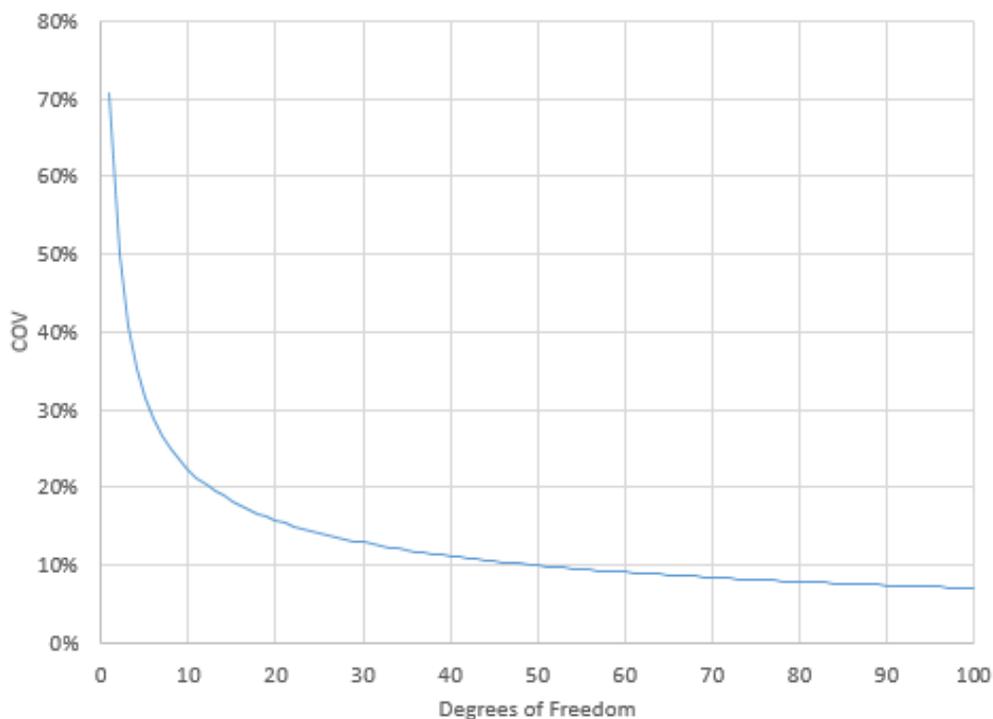


Figura 11: Relação entre COV e graus de liberdade (Fonte:McNeese, s.d.)

A Figura 11 relaciona o coeficiente de variação (COV) com os graus de liberdade. Os graus de liberdade quantificam a utilidade dos dados recolhidos e estão diretamente relacionados com o número de amostras, uma vez que quando o número de amostras é aumentado, os graus de liberdade também o são, sendo que um maior número de graus de liberdade irá diminuir a incerteza dos resultados no cálculo de σ e conseqüentemente no cálculo dos limites de controlo. Os graus de liberdade podem ser obtidos pela equação 16 caso se tratem de amostras individuais, ou pelas equações 17 e 18 no caso de se usarem cartas \bar{X},R .

$$df = 0.62 \times (n - 1) \tag{16}$$

Onde:

n: é o número de amostras

$$df = 0.9k \times (n - 1), \text{ para } n < 7 \quad (17)$$

$$df = 0.85k \times (n - 1), \text{ para } 7 \leq n \leq 10 \quad (18)$$

Onde:

n: é o tamanho da amostra

k: é o número de subgrupos

Por sua vez, o coeficiente de variação representa a variabilidade relativamente à média e pode ser obtido através da equação 19 ou da equação 20.

$$COV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (19)$$

Onde:

σ : representa o desvio padrão

\bar{x} : representa a média das amostras

$$COV = \frac{1}{\sqrt{2 \times df}} \quad (20)$$

Onde:

df: representa o número de graus de liberdade

Assim, definindo qual o COV desejado é possível estabelecer o número de amostras necessário à definição dos limites de controlo. O mesmo estudo indica que um COV entre 15% e 20% representa uma boa relação entre o número de amostras necessário para cálculo dos limites de controlo e a minimização da incerteza no seu cálculo. No caso de ser pretendida mais cautela poderia ser definido um COV objetivo de 10%, que corresponde a 50 graus de liberdade. No caso de serem recolhidas amostras de tamanho 10, como é o caso do setor da moldação da DeSousa, esse valor corresponde a 7 amostras. Tendo em conta que este processo ocorre na fase I de utilização das cartas de controlo, o estudo mencionado recomenda ainda que os limites voltem a ser calculados 100 pontos após o primeiro cálculo, o que corresponde a 10 amostras no caso de o tamanho da amostra ser 10.

Caso seja pretendida a adoção de um valor geral para todos os setores, para cartas do tipo $\bar{X} - R$, Montgomery (2013) recomenda a recolha de 20 a 25 subgrupos com tamanhos de amostra entre 3 a 5 unidades, antes de definição dos limites de controlo iniciais. Requeijo (2003) menciona que antes da definição dos valores iniciais dos limites de controlo é necessária a recolha de pelo menos 100 valores individuais, valor que pode ser obtido mais rapidamente ou de forma mais espaçada de acordo com o tamanho do subgrupo adotado. O mesmo autor refere ainda que é comum a recolha de 20 a 30 subgrupos, de dimensão 4 ou 5 até perfazer o número de amostras mencionado.

Fase 9- Após a estabilização do processo produtivo e a definição dos limites de controlo é atingida a última etapa da metodologia apresentada- a etapa de monitorização do processo. Esta etapa é coincidente com a fase II de utilização das cartas de controlo, na qual é considerado que

o processo se mantém estável por longos períodos. No caso de o processo sair do controlo estatístico, recorrendo ao OCAP definido, deverá ser repostado o seu estado inicial.

3.6 Síntese

Ao longo do capítulo 3 foi descrito o atual estado de CEP existente na fábrica DeSousa pertencente à Amorim Cork. Através da exposição do processo de fabrico de rolhas microaglomeradas e a apresentação dos equipamentos de medição utilizados na fábrica, bem como dos pontos de controlo do processo produtivo, pretendeu-se transparecer todo o CEP da DeSousa. Apesar de, aparentemente, ser um processo simples, existe um elevado número de variáveis em análise, com diversos tipos de cartas de controlo e frequências associadas, que só uma elevada compreensão dos conceitos teóricos subsequentes à utilização de cartas de controlo e das melhores práticas no que respeita a CEP permite.

Com a comparação entre o novo software de CEP e o que era utilizado antes do início do projeto, pretendeu-se entrever as motivações e a decisão de substituição de um software obsoleto, fazendo do EPC o atual software de CEP da Amorim Cork.

Adicionalmente foi sugerida uma metodologia para a implementação do software de CEP, uma vez que este vai ser introduzido em diversas fábricas da Amorim Cork, tornando-se por isso essencial a documentação e o planeamento deste processo. A metodologia sugerida engloba todos os passos desde a seleção dos pontos de controlo até à fase II de utilização de cartas de controlo.

4 Análise ao CEP da Amorim Cork

O presente capítulo tem como intuito a realização de uma análise crítica ao CEP da Amorim Cork, com foco no que é realizado pela DeSousa. Esta análise tem como objetivo a identificação de oportunidades de melhoria no CEP e a sugestão de medidas que poderão ser adotadas de modo a mitigar eventuais incorreções face às recomendações teóricas. Adicionalmente, serão ainda mencionados os impactos que a adoção destas melhorias poderão ter no processo produtivo da DeSousa, tendo em conta que a Amorim Cork ainda se encontra na fase I de utilização de cartas de controlo.

Ao longo do capítulo será primeiramente realizada uma análise aos resultados providenciados pelo EPC, assim como uma interpretação dos mesmos com foco nos fatores de variabilidade existentes entre grupos. Será também revista a utilização de limites de especificação nas diversas cartas de controlo, algo que é pratica corrente por parte da Amorim Cork. De seguida será verificada a normalidade da distribuição das características controladas, visto ser basilar a garantia desta normalidade para a utilização de cartas I-MR. Será também efetuado um estudo da frequência e tamanho de amostra adotados, de modo a determinar a representatividade dos valores obtidos face ao comportamento do processo. Uma vez que foi observada alguma variabilidade entre medições optou-se também por realizar uma análise à variabilidade dos controlos existentes nas várias etapas do processo produtivo, seguida de um estudo ao nível de estabilidade de alguns dos processos centrais da unidade industrial em análise. Finalmente serão realizadas sugestões de melhoria ao controlo estatístico de processo da DeSousa.

4.1 Análise dos resultados provenientes do EPC

O EPC foi apresentado à Amorim Cork como sendo um software cujos dados gerados são de utilização direta e intuitiva, sendo possível a sua análise diretamente no sistema. Esta análise tem como objetivo a realização de intervenções no processo produtivo de modo a manter o mesmo dentro de controlo estatístico. Na presente secção, com o intuito de melhor compreender o funcionamento do EPC, irá ser realizada uma análise dos dados gerados pelo novo software.

Após a realização dos controlos das variáveis do processo cada operador será direcionado para a respetiva carta de controlo. O software apresenta aos operadores os resultados ilustrados na Figura 12.¹



Figura 12: Carta de controlo apresentada ao operador após a realização do controlo

¹ Salienta-se que as figuras apresentadas na presente secção são meramente exemplificativas, de modo a ilustrar os resultados provenientes do EPC. Todas as figuras são de variáveis diferentes, não identificadas por questões de confidencialidade.

Além da vista da carta de controlo ilustrada na Figura 12, o EPC, apresenta à equipa de controlo de processo a possibilidade de visualizar um conjunto mais alargado de dados (Figura 13).

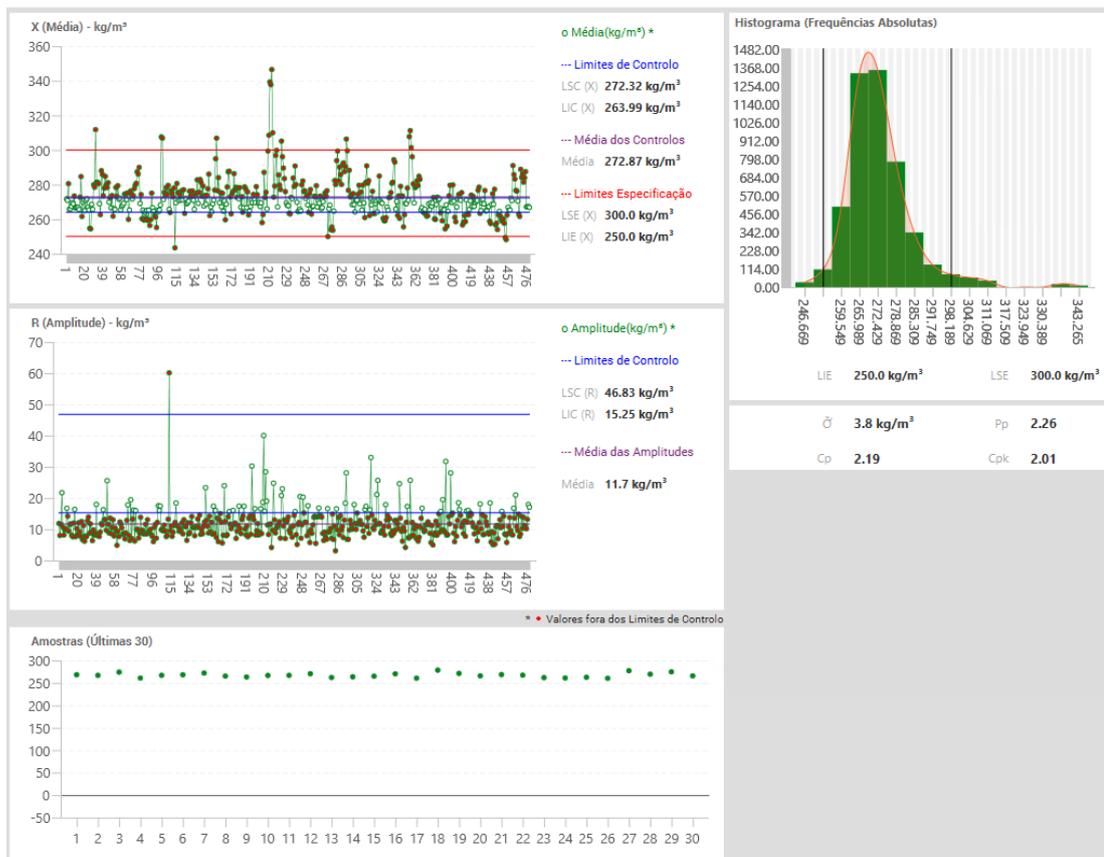


Figura 13: Resultados apresentados pelo EPC

Tal como é observável através da Figura 13 (apresentada a título de exemplo), o EPC apresenta resultados similares aos que são apresentados numa análise “*Capability Six Pack*” realizada pelo software Minitab (Figura 14) apresentando elementos como: as cartas de controlo para a variabilidade entre e dentro de grupos, os valores das últimas amostras, um histograma e valores dos índices de capacidade de processo. Ao longo da secção serão analisados em detalhe os principais elementos apresentados.

Na análise das cartas R do setor da moldação foram encontradas discrepâncias entre os valores apresentados pelo EPC e os valores calculados pelo Minitab, existindo casos em que nenhum ponto se encontrava dentro dos limites obtidos pelo software. Após uma cuidada análise foram encontrados indícios de que as diferenças evidenciadas poderiam ser provenientes da escolha das constantes D_3 e D_4 . Focando no setor da moldação, cujo tamanho de amostra é 10, o valor correto destas constantes é, respetivamente, 0.223 e 1.777, no entanto, o EPC parece atribuir a D_3 valores que variam entre 1.261 e 4.028 e a D_4 valores que variam entre 3.87 e 12.361, o que provoca uma translação vertical ascendente de ambos os limites de controlo e um aumento da amplitude existente entre eles, sinalizando falsas situações dentro de controlo estatístico. Note-se que o EPC atribui corretamente o valor à linha central destas cartas, no entanto, essa linha central encontra-se fora dos limites de controlo, sinalizando uma vez mais que o cálculo dos mesmos não se encontra correto. Na Figura 15 é evidenciado o comportamento relatado, denotando-se que não existe nenhum ponto inserido dentro dos limites de controlo da carta R.

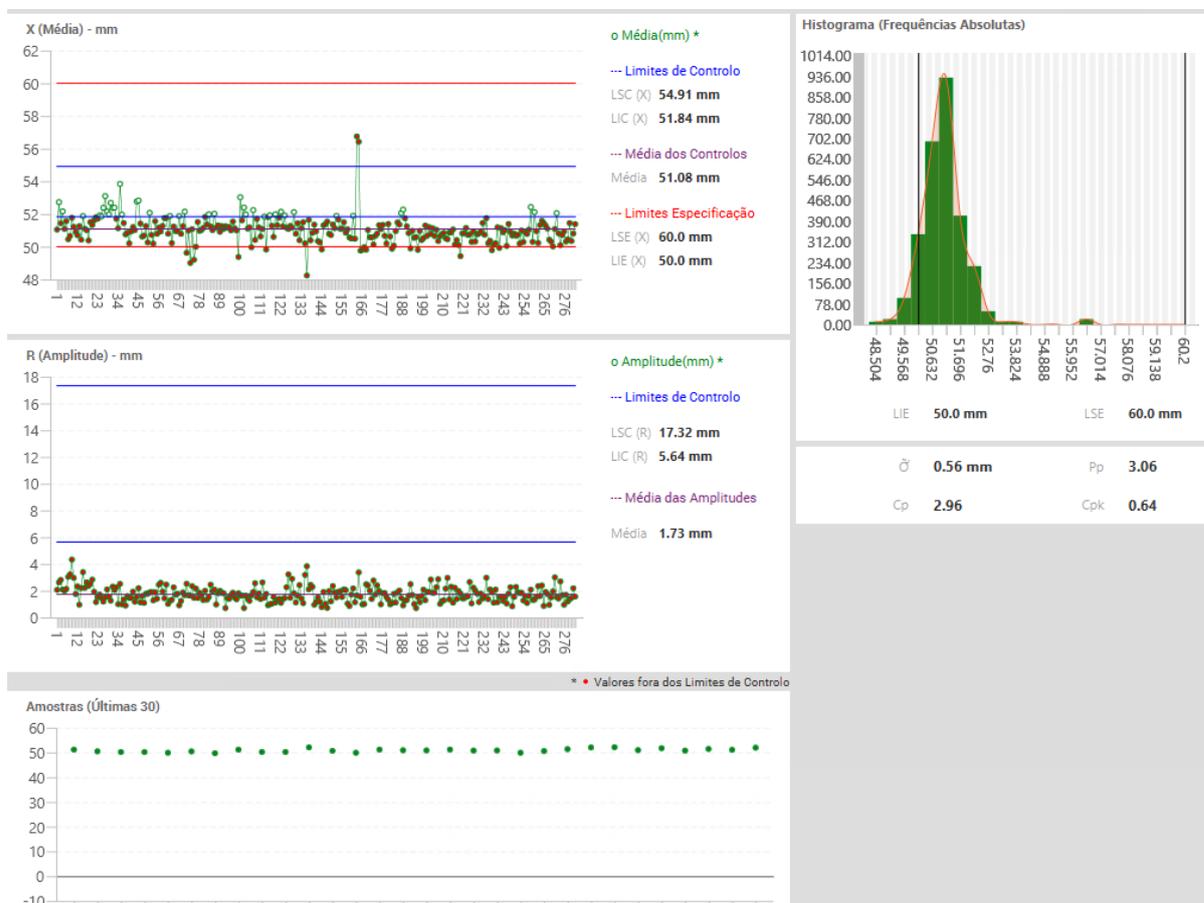


Figura 15: Exemplo de limites de controlo errados no setor da moldação

No que concerne à análise realizada às cartas de controlo \bar{X} do setor da moldação destaca-se que os limites provenientes do EPC também não correspondem aos valores teóricos, já que o valor da constante A_2 aparenta variar entre -0.684 e 2.906 no cálculo do LIC e entre -1.208 e 2.523 no cálculo do LSC quando deveria assumir o valor constante de 0.308. As discrepâncias relatadas provocam um alargamento do intervalo existente entre ambos os limites de controlo, o que faz com que eventuais situações em que o processo se encontre fora de controlo estatístico não sejam notadas e como tal não sejam realizadas intervenções no processo que evitem a produção de peças não conformes. Existem ainda casos nos quais a média das observações, bem como todos os pontos da carta, se encontram fora dos limites de controlo, situação que não aconteceria se os valores fossem corretamente calculados, já que a média dos valores observados é parte da fórmula de cálculo dos limites de controlo (ANEXO B)

A análise dos valores calculados pelo EPC para os limites de controlo das cartas R do setor da retificação evidenciou que os elementos destas cartas se encontram corretamente calculados, já que o software atribui à constante D_4 o valor 3.627, uma vez que o setor em análise recolhe 2 rolhas em cada linha de retificação para realizar este controlo. Os valores dos limites de controlo das cartas \bar{X} são também corretamente calculados pelo EPC.

Concluída a análise inicial aos valores providenciados pelo EPC, as diferenças encontradas foram comunicadas ao parceiro responsável pelo desenvolvimento do software em análise. O parceiro referiu que o sistema não recalcula os limites de controlo sempre que uma nova observação é registada, mas apenas quando a equipa de controlo de processo assim o pretende, procedimento este que é correto tendo em conta as recomendações teóricas. Nesta fase existem condições que devem ser cumpridas para que os limites possam ser recalculados, nomeadamente:

- Cartas \bar{X} –R (amostras cujo $N > 2$) - 75 amostras aprovadas nos últimos 25 controlos;
- Cartas \bar{X} –R (amostras com $N = 2$) - 50 amostras aprovadas nos últimos 25 controlos;
- Cartas I-MR- 100 amostras consecutivas aprovadas.

O parceiro em questão mencionou ainda que o EPC apenas utiliza os valores das amostras que foram aprovadas para o cálculo dos limites de controlo, não utilizando para isso os valores das amostras que foram rejeitados.

Desta forma, foi comparada a informação providenciada pelo parceiro desenvolvedor do EPC com as recomendações teóricas, de modo a validar o quão corretos estariam os métodos mencionados.

Tendo em conta que o CEP praticado pela Amorim Cork ainda se encontra na fase I (secção 2.3), isto é, na fase de definição dos limites de controlo que irão ser utilizados para monitorizar o processo produtivo, é recomendado o cálculo dos limites de controlo sempre que novos dados sejam recolhidos e num momento definido deve ser realizada a análise das cartas de controlo construídas.

Após a primeira definição dos limites de controlo, o recálculo dos mesmos não deve ser realizado a cada amostra, mas apenas após uma periodicidade definida pela equipa de controlo de processo (Flaig, 2010). Recordando o que é referido em 2.3, todo este procedimento deve ser realizado *offline*, de modo a não induzir os operadores em erro, com a introdução de limites de controlo calculados a partir de um processo que não se encontra estável. No entanto, na DeSousa esta fase I não é realizada totalmente *offline* visto que os limites de controlo experimentais são visíveis pelos operadores quer antes da sua definição inicial quer após esse momento. Deste modo, recomenda-se que a Amorim Cork, em conjunto com o parceiro responsável pelo EPC, introduza no EPC a possibilidade de ocultar a alguns utilizadores a visão destes limites, ficando apenas acessíveis à equipa de controlo de processo.

No momento da referida análise devem ser investigadas as causas das situações sinalizadas como estando fora de controlo estatístico, ou seja, cujos pontos ultrapassam os limites de controlo calculados. Após essa análise, no caso de serem encontradas causas assinaláveis de variação, devem ser tomadas ações de correção do processo produtivo, de modo a evitar que as mesmas voltem a afetar o processo em questão. Os pontos correspondentes devem ser eliminados das cartas de controlo e os limites de controlo deverão ser recalculados. De seguida é recomendada a recolha de novos dados de modo a comparar os limites obtidos com recurso aos novos dados com os limites recalculados. Note-se ainda que este é um processo iterativo, apenas concluído quando o processo se encontra estabilizado (Montgomery 2013).

Desta forma, o procedimento utilizado pelo parceiro no cálculo dos limites de controlo seria adequado face ao que é recomendado, uma vez que são realizadas intervenções no processo de cada vez que um controlo é rejeitado, pelo que esses pontos devem ser excluídos da definição dos limites de controlo, sendo apenas considerados, para esse efeito, valores de quando o

processo se encontra estável. O recálculo do valor destes limites é realizado pela equipa de controlo de processo periodicamente. No entanto, uma vez que um controlo é rejeitado quando os valores medidos (ou calculados) se encontram fora dos limites de especificação, a não inclusão destes pontos no cálculo não é correta. Desta forma-se recomenda-se o cálculo dos limites de controlo com todos os pontos provenientes dos controlos, e a verificação de que pontos se encontram fora dos referidos limites. Caso esses pontos representem causas assinaláveis de variação, os mesmo devem ser excluídos e novos limites de controlo devem ser calculados.

Note-se, no entanto, que não foram encontradas quaisquer recomendações teóricas relativas ao número de valores em controlo necessários para a atualização dos limites de controlo, sendo apenas mencionada a necessidade da recolha de no mínimo 20 a 25 amostras para um cálculo correto dos mesmos. Desta forma, as condições impostas pelo parceiro para que os limites de controlo pudessem ser recalculados consideram-se meramente arbitrárias, sendo recomendado o cálculo dos mesmos periodicamente.

As diferenças encontradas ao nível da moldação revelaram-se provenientes de um “bug” de software e não da escolha incorreta dos valores das constantes A_2 , D_3 e D_4 . A falha em questão estava relacionada com o momento de recálculo dos limites de controlo. Quando a equipa de controlo de processo decidia recalcular os limites de controlo, no caso de o plano de inspeção estar definido para um grupo de artigos, os limites eram calculados para todo o conjunto de artigos incluído no grupo, e não para cada um dos artigos, incluindo assim pontos dos diferentes artigos na mesma carta. Desta forma, existiam cartas de controlo em que a média e as observações se encontravam fora dos limites de controlo.

4.1.2 Capacidade do processo

Tal como foi explicitado na secção 2.4 a capacidade do processo é um indicador fundamental para as empresas perceberem se o seu processo produtivo é capaz de atender às especificações definidas. Desta forma, foi realizada uma análise aos valores de C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} que são providenciados pelo EPC, com recurso aos mesmos softwares utilizados na análise das cartas de controlo, de modo a avaliar a fiabilidade dos dados apresentados. Ressalva-se que estes indicadores apenas têm significado quando o processo está controlado.

No que respeita a todos os planos de inspeção que utilizam cartas I-MR (amostras de tamanho um) os valores dos índices mencionados coincidem com os obtidos através de outros softwares, pelo que se conclui que o EPC calcula os dados de forma correta. Verificou-se ainda que existem casos nos quais o valor de P_p é superior ao valor de C_p , e o valor de P_{pk} é superior ao valor de C_{pk} . Esta situação acontece apenas quando são recolhidas amostras unitárias e existe muita variabilidade entre amostras consecutivas, o que faz com que o desvio padrão de curto prazo seja superior ao desvio padrão de longo prazo, e como tal a performance do processo ultrapassa a capacidade do mesmo. Um exemplo de um caso onde o evento descrito acontece está ilustrado na Figura 16:

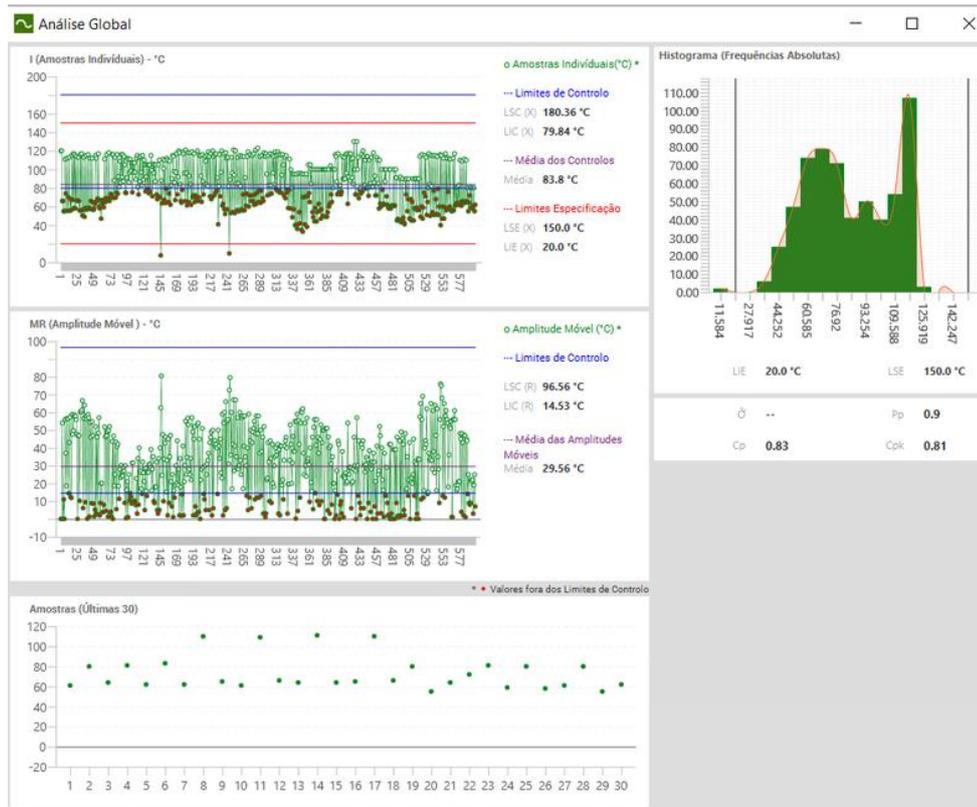


Figura 16: Exemplo de plano de inspeção com $P_p > C_p$

A mesma análise foi ainda realizada para setores que utilizam outro tipo de cartas de controlo, nomeadamente as cartas de controlo $\bar{X} - R$. A análise foi separada em dois setores, moldação e retificação, sendo que, tal como para a análise dos limites de controlo, foi realizada uma análise de Pareto (disponível em ANEXO D) de modo a selecionar quais os produtos mais representativos do estado do processo nos setores em questão.

Analisando primeiramente o setor da moldação, conclui-se que os índices de capacidade de processo são calculados de forma correta pelo EPC, uma vez que os seus valores coincidem com os que foram calculados com recurso a outros softwares (Minitab e Excel). Por outro lado, foram encontradas discrepâncias nos valores dos índices de performance de processo, com os valores de P_p e P_{pk} provenientes do EPC a serem superiores aos valores reais desses índices.

Consequentemente foi feita uma análise mais profunda aos valores calculados pelo EPC de modo a tentar encontrar a origem da diferença dos valores dos índices de performance do processo. Assim, constatou-se que, no cálculo dos índices mencionados, o EPC aparenta utilizar o desvio padrão de curto prazo, utilizando a média dos desvios padrão de todos os subgrupos, quando deveria utilizar o desvio padrão de longo prazo, tal como foi referido na secção 2.4, que é simplesmente o desvio padrão do conjunto de amostras em análise. Desta forma, o EPC transmite às equipas de controlo de processo a ideia errada de que o processo tem uma performance superior à real, estando assim o processo a produzir um número de peças defeituosas superior ao esperado.

Na análise realizada foi ainda verificado que os valores dos índices de performance de processo eram superiores aos valores dos índices de capacidade de processo, sendo que o valor de P_p é superior ao valor de C_p , e o valor de P_{pk} é superior ao valor de C_{pk} . Tal como foi mencionado no presente capítulo esta situação é apenas válida no caso de amostras individuais em que existe uma elevada variabilidade entre amostras. Uma vez que no caso da moldação o tamanho de amostra é 10 unidades, a validade desta situação não se verifica, o que indicia o cálculo incorreto dos valores dos índices de performance do processo.

A análise ao setor dos acabamentos mecânicos refletiu as mesmas discrepâncias encontradas no setor da moldação relativamente aos índices de performance do processo. No entanto, verificou-se ainda que no caso de a característica a ser controlada se tratar da ovalidade, os índices de capacidade do processo são, também, superiores aos valores teóricos dos mesmos. Também neste setor, a condição necessária para que se aceite o facto de os índices de performance do processo serem superiores aos índices de capacidade do processo não é verificada, já que é utilizado um tamanho de amostra de 2 rolhas. Um resumo desta análise pode ser encontrado na Tabela 16 do ANEXO E, na qual se verifica que para todos os casos o valor de P_p é superior ao valor de C_p , e o valor de P_{pk} é superior ao valor de C_{pk} .

Ressalva-se, no entanto, que, uma vez que o processo produtivo não se encontra estabilizado, os valores providenciados para os índices de capacidade e performance têm pouca relevância, devendo apenas ser considerados quando o processo se encontre completamente dentro de controlo, isto é, na segunda fase de utilização das cartas de controlo.

4.2 Interpretação dos resultados do EPC

O novo software de controlo de processo introduzido na Amorim Cork permite a realização de análises ao estado de controlo do processo produtivo por parte da equipa de controlo de processo através da secção denominada “Cartas de controlo”. Nesta secção o utilizador pode seleccionar qual a carta que deseja analisar, sendo possível alterar a carta visualizada através da aplicação de filtros. Os filtros seleccionados irão influenciar a geração da carta de controlo uma vez que cada um deles irá alterar os fatores de variabilidade presentes entre grupos. Desta forma considerou-se importante a realização de uma análise ao impacto que cada um dos filtros poderia ter na interpretação das cartas de controlo.

Após uma análise ao processo produtivo da DeSousa verificou-se que os fatores de variabilidade que podem estar presentes entre grupos, ou seja, entre a realização de dois controlos, são os seguintes:

- Artigo;
- Máquina;
- Operador;
- Turno;
- Matéria-prima;
- Lote;
- Lixa;
- Temperatura;
- Humidade.

De modo a conseguir analisar qualquer carta de controlo que o EPC possa gerar, a equipa de controlo de processo terá, inicialmente, de seleccionar qual o plano de inspeção cuja carta pretende visualizar. Note-se que, por exemplo, ao definir um agrupamento por máquina, tal quer dizer que os subgrupos são definidos para a mesma máquina, e que entre grupos poderá ocorrer variação devido a qualquer um dos outros fatores referidos. O filtro inicial não irá remover nenhuma das fontes de variabilidade entre grupos. Os restantes filtros que podem ser seleccionados encontram-se resumidos na Tabela 5, assim como os fatores de variabilidade entre grupos remanescentes quando esse filtro é aplicado em conjunto com o plano de inspeção seleccionado. De referir ainda que todos estes filtros poderão ser aplicados de forma cumulativa.

Tabela 5: Relação entre filtros e fatores de variabilidade entre grupos

Filtro Selecionado \ Fator entre grupos	Artigo	Máquina	Operador	Turno	Matéria-Prima	Lote	Lixa	Temperatura	Humidade
Artigo		X	X	X	X	X	X	X	X
Máquina	X		X	X	X	X	X	X	X
Responsável	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Turno	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lote			X	X			X	X	X
Lixa	X	X	X	X	X	X		X	X
Ordem de Fabrico			X	X			X	X	X

O filtro relativo ao artigo é apenas aplicável caso o plano de inspeção tenha sido parametrizado para um grupo de artigos, que ocorre quando as especificações dos diversos artigos são iguais. Assim, quando o utilizador seleciona o plano de inspeção a carta de controlo é gerada com os valores registados para todos os artigos do grupo. Ao filtrar por artigo, a carta de controlo visualizada será apenas respeitante a um produto, removendo assim o fator de variabilidade entre grupos que era introduzido pelos diversos produtos.

O EPC permite também que a equipa de controlo de processo filtre os registos apresentados por máquina. Ao aplicar este filtro apenas serão apresentados os controlos realizados para essa mesma máquina, tendo em conta que essa máquina poderá fabricar vários artigos, mantendo-se esse fator entre grupos.

Caso o utilizador pretenda filtrar a carta de controlo apresentada por responsável, será gerada uma nova carta contendo apenas os controlos registados pelo responsável selecionado. No entanto, uma vez que na DeSousa cada utilizador do EPC diz respeito à equipa que estava a trabalhar nesse mesmo turno, o fator operador manter-se-á na nova carta gerada, embora reduzido aos operadores da equipa em questão. O mesmo sucede quando se aplica o filtro do turno, que neste caso irá gerar a mesma carta que é apresentada quando selecionado o filtro do responsável.

No EPC é também possível filtrar a carta apresentada por lote. Quando este filtro é aplicado é removido o fator artigo, já que cada lote corresponde apenas a um artigo. Da mesma forma é removido o fator máquina, pois na DeSousa os lotes são definidos por máquina. Uma vez que na produção de um lote é utilizada sempre a mesma matéria-prima, o fator matéria-prima deixa de existir entre grupos. O fator lote é também removido aos fatores que se encontram entre grupos, e cada lote poderá ser controlado mais que uma vez, pois um lote de moldação poderá ter até 6 controlos, já que neste setor o lote é definido pela máquina e pelo dia. De frisar que o lote de moldação é mantido desde este setor até ao setor da embalagem.

No setor dos acabamentos mecânicos é ainda possível filtrar os controlos realizados pela lixa. No momento do registo do controlo o operador terá de indicar se a lixa da máquina em análise foi ou não mudada. Assim, no momento de análise das cartas de controlo, a equipa de controlo de processo conseguirá obter a perceção do tempo de vida útil de uma lixa, antecipando a sua mudança de forma a evitar que o seu desgaste prejudique as peças produzidas. Desta forma, ao filtrar por lixa será possível visualizar apenas os controlos nos quais foram trocadas as lixas ou nos quais não existiu essa troca, removendo assim o fator lixa da variabilidade entre grupos.

O último filtro que o EPC permite aplicar é o filtro por ordem de fabrico. Dependendo do setor em análise, uma ordem de fabrico poderá envolver vários lotes, pelo que esse fator poderá ou não ser retirado da variabilidade entre grupos quando este filtro é aplicado, sucedendo o mesmo com o fator matéria-prima. O fator artigo é também removido da variabilidade entre grupos, uma vez que a uma ordem de fabrico corresponde um só artigo produzido. Uma vez aplicado este filtro, o fator máquina deixa de estar entre grupos, já que as ordens de fabrico são geradas por máquina.

A Tabela 17 do ANEXO E permite ao leitor ter uma perceção do número aproximado de cartas de controlo que é possível gerar através do EPC. De salientar que os artigos estão distribuídos

pelos grupos de artigos e que a cada plano de inspeção pode estar associado apenas um artigo ou grupo de artigos.

4.3 Limites de especificação

A primeira oportunidade de melhoria identificada no CEP da Amorim Cork está relacionada com a utilização dos limites das especificações, também designados por alguns autores como limites de tolerância. A DeSousa, assim como as outras fábricas da Amorim Cork, inclui os limites de especificação internos diretamente nas cartas de controlo, independentemente do tipo de carta em análise, optando por não utilizar limites de controlo para, desta forma, evitar correções excessivas no processo, pois os mesmos ainda não se encontravam definidos de forma confiável pelo software antigo de CEP.

Neste ponto torna-se importante a distinção entre limites de especificação e limites de controlo, que é sumarizada na Tabela 6:

Tabela 6: Distinção entre limites de controlo e limites de especificação (Fonte:Northwest Analytics s.d.)

Limites de Controlo	Limites de Especificação
Voz do processo	Voz do cliente
Calculados a partir dos dados recolhidos	Definidos pelo cliente
Utilizados em cartas de controlo	Utilizados em histogramas
Aplicação a subgrupos	Aplicam-se a medições individuais
Base para a tomada de ações no processo	Permitem a separação de peças boas e defeituosas
Refletem o estado do processo	Refletem o que é pretendido do processo

Ressalve-se que o cliente pode ser externo ou interno (e.g. o processo seguinte).

A correção na utilização de limites de especificação diretamente nas cartas de controlo depende do tipo de cartas de controlo utilizadas. Assim será analisada a sua utilização no caso de cartas I-MR e no caso de cartas \bar{X} -R.

Cartas de controlo I-MR

A utilização de limites de especificação em cartas de controlo I-MR é aceitável, uma vez que estão a ser representados os valores individuais que são recolhidos. Desta forma, a variabilidade representada na carta de controlo corresponde à dispersão real das amostras individuais. Assim, a comparação dos limites de especificação com os valores das amostras individuais está correta, apesar de não ser aconselhável a utilização destes limites para a avaliação do estado de controlo estatístico do processo.

Apesar dos limites de especificação poderem ser usados em cartas I-MR, denotou-se que os mesmos tendem a gerar confusão nos operadores e provocar intervenções desnecessárias no processo de fabrico. Assim, é perentório que o controlo de processo seja realizado através dos limites de controlo, pois apenas estes refletem o intervalo de variabilidade expectável devido a causas comuns de variação, permitindo a deteção da presença de causas assinaláveis de variação. Sintetizando, os limites de especificação devem apenas ser utilizados com o intuito de demonstrar que o processo é capaz de produzir peças conforme as especificações.

Constata-se assim que a utilização dos limites de especificação como um método para controlo de processo por parte da Amorim Cork está incorreta, já que apenas são realizadas intervenções no processo após a ocorrência de peças defeituosas, fora de especificação, sendo que o CEP e as cartas de controlo devem ser utilizados como ferramentas de prevenção de defeitos e consequente redução de custos de desperdício e reprocessamento (Figura 17).

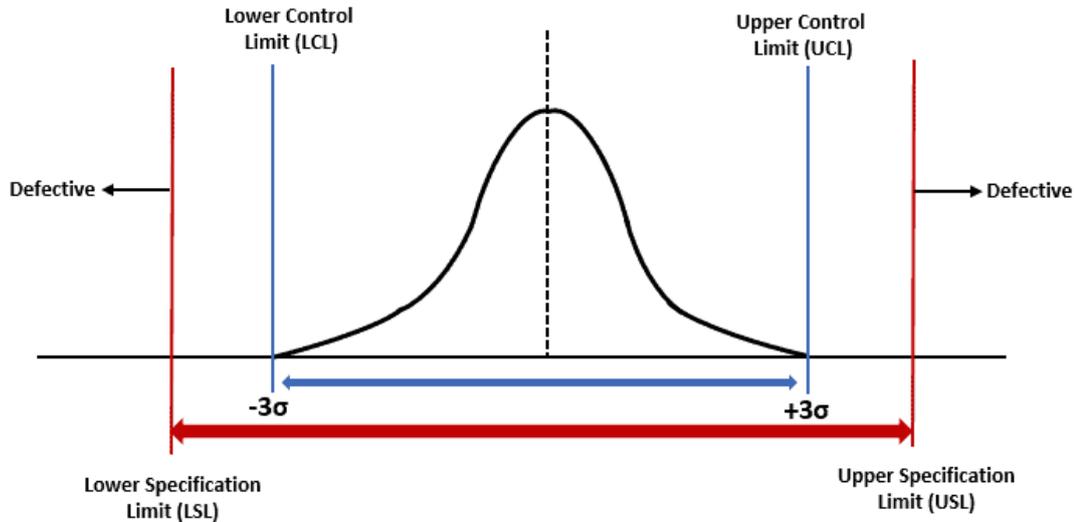


Figura 17: Ilustração da relação entre a distribuição de uma característica, limites de controlo e limites de especificação (Fonte: Specification Limits)

Cartas de controlo $\bar{X} - R$ e $\bar{X} - S$

A utilização de limites de controlo em cartas do tipo $\bar{X} - R$ ou $\bar{X} - S$ é incorreta, sendo um erro constante na indústria. Esta falha prende-se com o facto de a distribuição da média amostral na carta \bar{X} possuir uma variabilidade muito inferior àquela que é observada na distribuição das amostras individuais, como pode ser visualizado na Figura 18 :

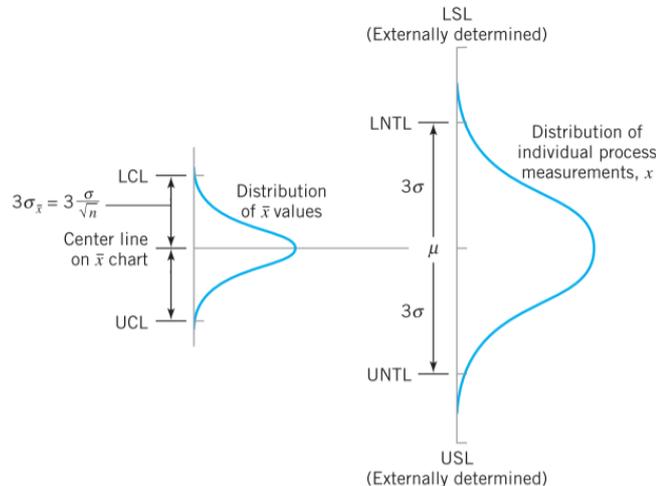


Figura 18: Comparação entre a variabilidade da distribuição das médias e a variabilidade da distribuição das amostras individuais (Fonte:Montgomery 2013)

Como se pode verificar, a utilização de limites de especificação em cartas de controlo \bar{X} transmite uma ideia errada de que as peças produzidas se encontram dentro das especificações definidas. Assim, poderá estar a ser produzido um elevado número de peças defeituosas, que estão a ser transmitidas ao cliente (seja ele interno ou externo). Note-se ainda que o CEP nada tem a ver com o facto de o processo estar ou não a produzir peças dentro das especificações, mas constitui um método de avaliação da estabilidade do processo produtivo.

A Amorim Cork utiliza limites de especificação nas cartas $\bar{X} - R$ de modo a controlar o processo produtivo. Tal como foi referido, além da representação destes limites nas referidas cartas ser inapropriado, a sua utilização para controlar o processo em substituição de limites de controlo é ainda mais desajustada. Esta utilização deve-se, no entanto, e tal como mencionado

anteriormente, ao facto de a DeSousa ainda se encontrar numa fase embrionária de definição de limites de controlo, e, por isso, pretender evitar um número excessivo de paragens no processo produtivo..

Assim, apesar da utilização de limites de controlo numa fase inicial poder levar a um número de paragens indesejado no processo, em ambos os casos descritos recomenda-se a adoção de uma metodologia como a que foi descrita nas secções 2.3 e 3.5 com a utilização da fase I com o objetivo de estabelecer os limites de controlo, de forma *offline*, e colocar o processo num estado de controlo estatístico, e a fase II a surgir como uma etapa de controlo do estado do processo.

4.4 Normalidade da distribuição das características controladas

A segunda oportunidade de melhoria identificada no CEP realizado pela DeSousa diz respeito à normalidade da distribuição das diversas características que são controladas. Recordando o que é descrito no ANEXO B, a importância da verificação da normalidade da distribuição depende do tipo de cartas de controlo que são utilizadas, assim como do tamanho da amostra.

O teorema do limite central menciona que com o aumento do tamanho da amostra, a importância de verificação da normalidade da distribuição diminui, pois, independentemente da distribuição original, a distribuição da média da amostra irá tender para uma variável normal. Desta forma, a verificação da normalidade das características cujo tamanho de amostra é superior a 3 unidades tem uma importância mais reduzida. Assim, uma vez que a DeSousa recorre a cartas de controlo \bar{X} -R, principalmente quando o tamanho da amostra é de 5,6 ou 10 unidades, não se torna necessária a verificação da sua normalidade.

Por outro lado, nos casos em que as amostras utilizadas são de tamanho unitário devido às características do produto, que se encontra ainda em fase de granulado, a verificação da normalidade da distribuição é mais crítica. A verificação da normalidade é essencial devido ao facto da ARL diminuir drasticamente quando a normalidade não é verificada. Uma carta I-MR cujos limites de controlo estão estabelecidos a uma distância de três sigma da linha central possui uma $ARL_0=370$, no caso de uma variável normal, no entanto, se a variável seguir uma distribuição Gamma, a ARL_0 diminuirá para valores entre 45 e 97 e no caso de uma distribuição t de Student, diminuirá para valores entre 283 e 76 (Montgomery 2013).

Uma vez que a DeSousa não verifica a normalidade da distribuição de nenhuma variável, foi realizada uma análise da normalidade a todas as variáveis que utilizam cartas de controlo I-MR de modo a determinar se as cartas estariam a ser corretamente utilizadas ou se deveria ser utilizado outro tipo de cartas de controlo. Esta análise foi realizada com recurso ao software Minitab e todos os resultados constam no ANEXO F.

Para a verificação da normalidade das distribuições foi selecionado o teste Ryan-Joiner, equivalente ao teste Shapiro-Wilk, que é considerado o teste mais potente, quando comparado com os testes Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov (Razali 2011).

Assim, foi realizado um teste de hipóteses para cada uma das características que são controladas com recurso a amostras unitárias na DeSousa. O teste de hipóteses subjacente, com um nível de significância de 5% é:

H_0 : A variável segue uma distribuição normal;

H_1 : A variável não segue uma distribuição normal;

Analisando os resultados obtidos, concluiu-se que apenas utilizam corretamente cartas I-MR as seguintes características:

- Massa volúmica do granulado tratado nos silos;
- Massa volúmica corrigida do granulado tratado nos silos;

- Humidade do granulado RN nos silos.

Assim, para todas as características não mencionadas na lista anterior, o uso de cartas I-MR não é totalmente correto, devendo os resultados ser analisados com cautela. As conclusões do estudo realizado encontram-se resumidas na Tabela 7.

Tabela 7: Conclusões do estudo de normalidade

		Normalidade
Granulado RCT	Humidade	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica Corrigida	A variável não segue uma distribuição normal
Granulado RN	Humidade	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica Corrigida	A variável não segue uma distribuição normal
Granulado RN nos silos	Humidade	A variável segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica Corrigida	A variável não segue uma distribuição normal
Granulado Tratado nos silos	Humidade	A variável não segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica	A variável segue uma distribuição normal
	Massa Volúmica Corrigida	A variável segue uma distribuição normal
Granulado RN nos secadores	Temperatura	A variável não segue uma distribuição normal
	Humidade	A variável não segue uma distribuição normal

Uma vez que existe um elevado número de características que utilizam cartas I-MR de forma desajustada, sugere-se a adoção de cartas de controlo EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) já que estas apresentam elevada insensibilidade à assunção da normalidade da distribuição por parte das características controladas, por oposição às cartas I-MR. Uma solução alternativa à mencionada, seria a transformação da variável original, numa variável normalmente distribuída, utilizando esta nova variável criada (Montgomery 2013). No entanto, atualmente, o EPC não permite a utilização de nenhuma das sugestões apresentadas, encontrando-se o parceiro a desenvolver a introdução de cartas EWMA no mesmo.

4.5 Tamanho da amostra e frequência de amostragem

O terceiro ponto da análise está relacionado com o tamanho da amostra e frequência de amostragem nos diferentes setores da DeSousa. A definição da frequência e tamanho de amostra é uma das questões fulcrais no que concerne ao CEP, na medida em que determina quão representativa é a amostragem realizada. Tendo isto em atenção, foi realizada uma análise da frequência e tamanho da amostra da DeSousa, com recurso à produção diária dos três principais setores, a fim de determinar se a amostragem utilizada era a ideal ou se seria aconselhada a realização de ajustes.

O setor da trituração da DeSousa produz, em média, 44800 Kg de granulado por dia. Neste setor a frequência de controlo é dependente do tipo de produto que está a ser produzido. Tal como referido na secção 3.3, o granulado RCT é controlado de hora a hora, sendo que em cada hora é recolhido 1 dm³ de granulado. Assim sendo, ao longo do dia são controlados 24 dm³ de granulado RCT. Tendo em conta que a média da massa volúmica de todos os controlos realizados, cujo valor é de 70.1 Kg/m³, corresponde a cerca de 70 gramas de granulado em cada controlo, são controlados cerca de 1680 gramas diárias deste produto, sendo produzidos, em média, cerca de 16670 Kg diários.

Diariamente são produzidos, em média, 7800Kg de granulado RN. Conforme mencionado na secção 3.3, este produto é controlado a cada 2 horas, sendo recolhido 1 dm³ de granulado. Este granulado apresenta uma massa volúmica média de 59.32 Kg/m³. Considerando que a massa média deste produto são 60g, diariamente são controladas 720g de granulado RN diariamente. Analisando os valores apresentados é evidenciada a baixa representatividade das amostras face à produção diária no setor da trituração da DeSousa.

No setor da moldação são produzidos diariamente, em média, cerca de 3.7 milhões de corpos. Neste processo, a DeSousa realiza 2 controlos a cada moldadora em cada um dos 3 turnos existentes, perfazendo um total de 60 corpos diários, já que o tamanho de amostra é de 10 unidades. Uma vez que existem 14 moldadoras são analisados diariamente 840 corpos, o que se revela claramente insuficiente face à imensa quantidade produzida diariamente, não refletindo desta forma o verdadeiro estado do processo.

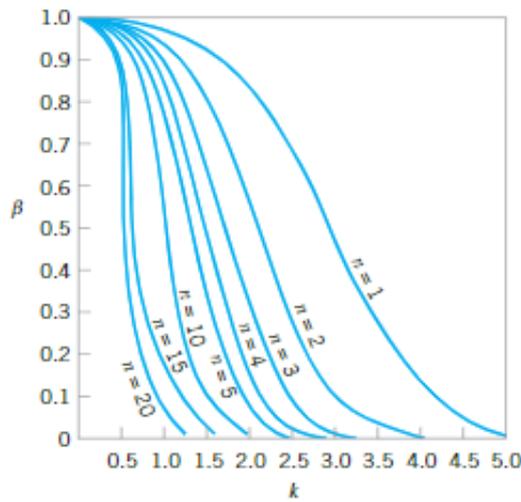
O setor dos acabamentos mecânicos retifica diariamente, em média, 4 milhões de rolhas. Neste setor são controladas 2 rolhas a cada 2 horas por linha de retificação. Na DeSousa existem, atualmente, 29 linhas de retificação. Desta forma, são controladas diariamente 696 rolhas. Uma vez mais a amostragem é bastante inferior à produção diária, sendo assim recomendada uma revisão da frequência e/ou tamanho de amostra.

A definição da frequência e tamanho da amostra, tal como num problema de alocação de recursos, envolve o balanceamento entre as necessidades de produção e de controlo de processo, tendo em conta que os recursos, nomeadamente os operários, são limitados. Uma vez que todas as análises realizadas são ainda feitas de forma *offline*, o tempo de realização das mesmas é mais elevado do que o que seria desejável.

A seleção do tamanho de amostra é influenciada pela magnitude do desvio cuja deteção é pretendida. No caso de estarem a ser utilizadas cartas de controlo \bar{X} , em que os desvios sejam de magnitude 2σ ou superior, é recomendado um tamanho de amostra de 4 a 6 unidades (Montgomery 2013). Por outro lado, se o desvio for de baixa magnitude serão necessárias cerca de 15 a 25 unidades por amostra. Tendo em conta que a Amorim Cork se encontra na fase I de utilização de cartas de controlo, em que o processo ainda não se encontra estável, são esperados desvios de elevada magnitude. Desta forma, no setor da moldação o tamanho de amostra de 10 unidades é adequado, o que não se verifica, no entanto, no setor dos acabamentos mecânicos, já que apenas são recolhidas 2 rolhas em cada controlo, devendo ser aumentado o tamanho de amostra para pelo menos 4 rolhas.

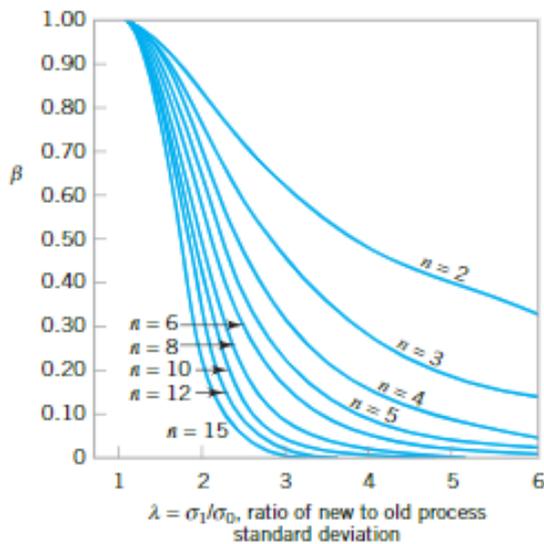
Relativamente às cartas de controlo do tipo R, estas apresentam uma sensibilidade reduzida a mudanças de baixa magnitude no processo produtivo. Assim sendo, são recomendadas amostras de maior tamanho de modo a garantir a deteção de eventuais mudanças que possam ocorrer no processo (Requeijo 2003). Neste caso, a literatura recomenda um tamanho de amostra superior a 10 unidades. Neste sentido, é recomendada a escolha de um tamanho de amostra superior ao existente nos setores da moldação e acabamentos mecânicos e a adoção de cartas de controlo do tipo \bar{X} -S já que as cartas de controlo do tipo S são mais sensíveis a mudanças de baixa magnitude do que as cartas R. Note-se se o tamanho da amostra escolhido for superior a 12, devem ser utilizadas as cartas S e não R, já que \bar{R} não providencia uma boa estimativa do desvio padrão com amostras deste tamanho, devendo estas apenas ser utilizada para tamanhos de amostras de 4 a 6 unidades (Montgomery 2013).

Existe ainda uma solução alternativa, mais dinâmica, para a seleção do tamanho da amostra (Montgomery 2013). Considerando esta alternativa, a Amorim Cork poderia recorrer às curvas OCC (Operating Characteristic Curve) de modo a escolher o tamanho da amostra indicado, consoante a magnitude dos desvios cuja deteção é desejada (Figura 19 e Figura 20).



β : Probabilidade de não detetar o desvio;
 k : Magnitude do desvio em função do desvio padrão;
 n : Tamanho da amostra.

Figura 19: Curva OCC para a carta de controlo \bar{X} (Fonte: Montgomery 2013)



β : Probabilidade de não detetar o desvio;
 λ : Rácio entre os desvios padrão;
 n : Tamanho da amostra.

Figura 20: Curva OCC para a carta de controlo R (Fonte: Montgomery 2013)

Assim, a Amorim Cork deveria seleccionar qual o β e a magnitude de desvio que pretende detetar e verificar, e, através das curvas OCC, determinar qual o tamanho da amostra indicado.

A utilização destas curvas está imediatamente relacionada com o conceito de ARL mencionado na secção 2.3, sendo assim possível substituir β por ARL nas curvas OCC, conforme exemplificado na Figura 21.

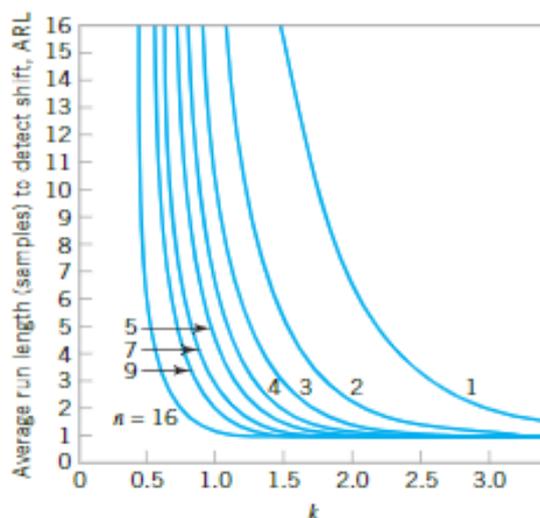


Figura 21: Curva OCC em função da ARL (Fonte: Montgomery 2013)

Neste pressuposto, a DeSousa apenas teria de definir o número médio de ciclos de execução do processo sem paragens pretendido para cada um dos produtos, em cada processo, e, de acordo com a magnitude do desvio, seleccionar o tamanho de amostra.

No que concerne à definição da frequência não existem regras definidas que sirvam de orientação. No entanto, na fase em que a Amorim Cork se encontra, é aconselhável a definição de um curto espaço de tempo entre controlos já que o processo se encontra fora de controlo estatístico. Após a estabilização do processo produtivo, a frequência dos controlos poderia, então, ser reduzida. No entanto, é importante ter em consideração que a frequência deve ser definida de modo a evitar que as medições não sejam enviesadas nem estejam correlacionadas (Oakland 2008c). Uma maior frequência dos controlos poderá também provocar o aparecimento de mais ruído nas cartas de controlo e o conseqüente aumento da variabilidade, embora a probabilidade de capturar mudanças no processo aumente (Velez s.d.).

Com o intuito de auxiliar na definição da frequência e do tamanho da amostra, Requeijo (2003) introduz a Tabela 8 adaptada da norma MIL STD 414:

Tabela 8: Percentagem de unidades a inspecionar (Fonte: Requeijo 2003)

Dimensão do Lote	Percentagem de Unidades a Inspeccionar
60-300	10%
301-1000	5%
1001-5000	2%
>5000	1%

Podemos verificar que através do tamanho do lote é possível obter o número total de unidades que devem ser inspeccionadas. Assim, o tamanho de amostra e a frequência de amostragem devem ser conjugadas de forma a que se obtenham os valores sugeridos. Uma vez que na DeSousa os lotes são de elevadas quantidades, devem ser inspeccionadas pelo menos 1% das unidades produzidas, algo que não se verifica atualmente, como foi anteriormente referido. Requeijo (2003) menciona ainda que na definição da frequência deve ser tido em atenção que a recolha de amostras muito frequentes pode colocar em causa a independência dos dados entre amostras, sendo esse um pressuposto para a utilização de cartas de controlo.

Recomenda-se assim que seja realizada uma revisão ao tamanho da amostra e frequência com que as mesmas são recolhidas, de modo a aumentar a representatividade do processo produtivo. Objetivando, a DeSousa deve seleccionar os fatores mencionados tendo em conta quer as

necessidades de controlo de processo, quer a limitação imposta pelo número de operadores disponíveis e o tempo que cada controlo levaria a cada um destes operadores.

4.6 Variabilidade entre medições

Outro ponto crítico e passível de melhoria é a variabilidade existente entre operadores na realização dos controlos definidos. A forma como os controlos são realizados deve ser uniforme entre todos os operadores de modo a que eventuais situações em que o processo esteja fora de controlo estatístico se deva a uma causa assinalável de variação e não ao facto das medições não serem realizadas da mesma forma por parte dos operadores. Importa ainda ressaltar que os equipamentos de medição são regularmente calibrados, pelo que não deverá existir nenhuma perturbação no valor medido por falta de calibração do equipamento utilizado.

Inicialmente foi equacionada a realização de uma análise ao sistema de medição, mas a mesma foi descartada por não ser possível garantir a medição da(s) mesma(s) peça(s) repetidas vezes por diferentes operadores e por falta de disponibilidade de recursos.

Analisando o processo desde o setor da trituração até ao setor dos silos, inclusive, uma vez que apenas é retirada uma amostra de granulado; são utilizados os mesmos instrumentos de medição; as amostras são retiradas sempre dos mesmos locais e não foi identificada nenhuma variação entre os operadores, não existe desta forma impacto dos mesmos nas medições realizadas. Da mesma forma, uma vez que no setor da moldação as medições são realizadas com recurso ao Medcork e os corpos são retirados dos mesmos locais, o operador não introduz qualquer perturbação nas medições realizadas.

Em contrapartida, foram sinalizadas grandes diferenças na forma como os controlos são realizados no setor da retificação. Recorrendo à Tabela 4 na qual se sumarizam todos os controlos realizados pela DeSousa, é perceptível que no setor em questão existe uma elevada variabilidade no que respeita à forma como são controladas as rolhas. Esta variabilidade é devida ao fator operador, pois, tal como constatado através da observação da realização dos controlos, não existe uma uniformização relativa à forma como devem ser retiradas as rolhas das máquinas: os operadores retiram 2 corpos retificados, não estando os mesmos chanfrados, 2 rolhas acabadas ou 2 corpos retificados e 1 ou 2 rolhas acabadas, por linha de retificação.

Desta forma, cada um dos operadores está a introduzir entropia nas medições que são registadas no EPC, uma vez que neste setor é requerida a medição do comprimento das rolhas e de dois diâmetros da mesma rolha de modo a determinar o seu diâmetro médio e a sua ovalidade. Nos casos em que são retirados 2 corpos retificados e 1 ou 2 rolhas acabadas, o comprimento é medido nas rolhas acabadas, enquanto o diâmetro é medido nos corpos. Assim sendo, os valores registados como sendo de uma mesma unidade produzida, não o são, não refletindo desta forma o verdadeiro estado do processo.

Questionados os operadores acerca desta discrepância foi referido que, no caso em que são utilizados 2 corpos retificados e 1 ou 2 rolhas, se deve ao facto de o chanfro poder prejudicar o diâmetro medido, optando, alguns, por utilizar 2 corpos retificados e por não medir o diâmetro nas rolhas finais. Foi ainda justificado que esta diferença se deve ao destino do produto, sendo que alguns dos clientes do mesmo possuem tolerâncias inferiores, sendo desta forma necessário o controlo da rolha acabada.

Nos restantes setores não foi observada nenhuma discrepância na forma como são realizados os controlos sendo que todos os operadores inserem o higrómetro aproximadamente no centro da rolha, não gerando, assim, qualquer perturbação no valor medido.

No seguimento desta análise, é recomendável que seja realizada uma padronização dos processos de CEP no setor dos acabamentos mecânicos, com a criação de normas relativamente à forma como devem ser retiradas as amostras, de modo a eliminar o fator operário do valor

registado, de forma a refletir o verdadeiro estado do processo. Caso seja necessário realizar o controlo com recurso a um método diferente do estabelecido devido a exigências do cliente, esses produtos devem possuir as suas próprias cartas de controlo, não criando assim entropia na forma como os controlos são realizados, nem na determinação dos elementos que constituem as cartas de controlo. Note-se que esta recomendação é aplicável a outras fábricas da Amorim Cork, uma vez que este problema é transversal a algumas unidades industriais do grupo, como por exemplo a Champcork.

4.7 Análise à estabilidade dos processos

Tendo em conta que o presente documento retrata o CEP realizado pela DeSousa, considerou-se relevante a realização de uma análise à estabilidade dos principais processos desta fábrica, cujos resultados se encontram espelhados na Tabela 9. De modo a selecionar os processos a serem analisados recorreu-se às análises de Pareto realizadas na secção 4.1 que estão disponibilizadas no ANEXO D. Outra das razões que torna relevante esta análise, é o facto de a DeSousa se encontrar na fase I de utilização de cartas de controlo e, sendo, por isso, pertinente analisar qual o processo que se encontra mais estável e, portanto, mais perto de poderem ser estabelecidos os limites de controlo definitivos.

Tabela 9: Estado de controlo dos processos da DeSousa

Setor	Tipo de Carta	Artigo	Controlos Rejeitados	Controlos	Numero médio de controlos por falha
Retificação	X-R	Rolha 1	11	880	80,00
		Rolha 3 R1	17	2651	155,94
		Rolha 3 R2	11	947	86,09
		Rolha 4 R1	10	932	93,20
		Rolha 4 R2	2	15	7,50
		Rolha 7 R1	19	57	3,00
		Rolha 7 R2	0	33	0,00
		Rolha 6 R1	2	239	119,50
		Rolha 6 R2	2	77	38,50
		Rolha 2	3	424	141,33
		Rolha 8	8	1207	150,88
Moldação	X-R	Corpo 1	18	439	24,39
		Corpo 2 Especial	93	272	2,92
		Corpo 2	56	1300	23,21
		Corpo 3 Especial	107	281	2,63
		Corpo 3	3	10	3,33
Trituração	I-MR	RN Secadores	137	957	6,99
		RCT	43	1193	27,74
		RN	55	626	11,38

Tal como referido na secção 3.1, o produto resultante do processo de moldação é denominado corpo. A diferença existente entre o corpo 2 e corpo 2 especial e entre o corpo 3 e o corpo 3 especial reside no processo de fabrico, sendo que a denominação “especial” diz respeito a corpos fabricados num conjunto de moldadoras específicas. A mesma secção (3.1) explicita que no final do processo da retificação um corpo converte-se numa rolha. Os produtos do setor da retificação que possuem a designação R1 ou R2 consistem em produtos que são fabricados em ambas as secções deste setor, com a retificação 1 a corresponder às linhas de retificação 1 a 15 e a retificação 2 a corresponder às linhas de retificação 16 a 29, sendo que os restantes produtos apenas são fabricados numa das secções mencionadas. Uma vez que os processos mencionados são distintos, é necessária a realização de análises separadas a ambos. Importa ressaltar que, os nomes incluídos na tabela não correspondem aos verdadeiros nomes dos artigos, tendo estes sido alterados por questões de confidencialidade.

A estabilidade de um processo é determinada pelo índice denominado “Número médio de controlos por falha”, que resulta da divisão do número total de controlos, efetuados desde o dia de arranque do EPC até à data em que foram estabelecidos pela primeira vez os limites de controlo pela equipa de controlo de processo da DeSousa, pelo número de controlos rejeitados no mesmo período. Encontrando-se a DeSousa na fase I de utilização das cartas de controlo, um controlo é rejeitado sempre que o valor individual está fora dos limites de especificação, no caso da trituração, ou sempre que a média está fora dos limites de especificação, nos restantes setores em análise.

Começando por analisar o setor da Trituração, é visível na Tabela 9 que o processo mais estável é o processo que dá origem ao granulado RCT, com uma falha a cada 28 controlos. O comportamento relatado pode ser explicado pelo facto de o produto em questão ser um produto que é vendido a outras unidades e como tal ser alvo de maior atenção por parte dos operadores. Ainda assim, considera-se que para os três produtos analisados os processos ainda não são estáveis registando-se ainda falhas com bastante frequência.

Analisando o setor da moldação, através da Tabela 9 torna-se evidente que existem discrepâncias acentuadas no que respeita à estabilidade do processo originário de cada um dos produtos. O processo que aparenta ser mais estável é o processo que dá origem ao Corpo 1, com uma falha registada, em média, a cada 24 controlos. No entanto, tal como acontece no setor da trituração considera-se que o valor obtido é ainda baixo, pelo que não se recomenda a adoção dos limites de controlo atuais como definitivos. Os valores mais baixos são obtidos no processo de fabrico dos corpos 2 e 3 especial, com cerca de uma falha a cada três controlos realizados. Tendo em conta que estes artigos são controlados, em média, seis vezes por dia, o valor mencionado equivale a duas falhas diárias. Uma vez que ambos os produtos são produzidos pelo mesmo conjunto de moldadoras aconselha-se uma análise mais profunda às causas das falhas das mesmas.

O último setor analisado foi o setor da retificação, que, à semelhança do setor da moldação, apresenta elevadas discrepâncias entre os diferentes produtos. O processo que origina a Rolha 7 na retificação 2 não tem nenhum controlo rejeitado, pelo que aparenta ser o processo mais controlado. No entanto, devemos ter em conta o baixo volume de controlos, derivado ao baixo volume de produção deste artigo. Os processos que aparentam estar mais estáveis são os processos que originam as rolhas 3, 2 e 8 na retificação 1. Uma vez que a rolha 3 é produzida em ambas as retificações, recomenda-se a realização de um estudo aprofundado das diferenças entre as duas secções da retificação de modo a tentar aproximar o desempenho de ambas. Por outro lado, os processos que originam a rolha 4 na retificação 2 e a rolha 7 na retificação 1 apresentam um baixo desempenho, pelo que será necessário aferir quais as causas assinaláveis de variação que estão na origem de ambos os processos.

4.8 Melhores práticas de CEP

O propósito do último tema em análise neste capítulo é recomendar pequenas melhorias no CEP realizado pela DeSousa de modo que este possa funcionar de forma plena, evitando assim a produção de peças defeituosas, provocando consequentemente, uma melhoria no desempenho da empresa e um possível decorrente aumento dos lucros.

Atualmente, o CEP realizado pela DeSousa é ainda uma técnica *offline*, uma vez que os controlos são realizados algum tempo após as peças terem sido fabricadas, nomeadamente nos setores da lavagem e embalagem, não evitando desta forma a produção de peças defeituosas. Dado que uma das grandes vantagens do CEP é ser uma técnica de controlo *online*, com recurso a cartas de controlo que permitem espelhar em tempo real o estado do processo, é recomendável uma redução do tempo entre a produção de uma unidade e a sua análise, de modo a detetar celeremente o estado do processo e impedir que o mesmo saia do estado de controlo estatístico. O CEP *online*, aproxima-se assim da fase II de utilização de cartas de controlo, como é

explicado na secção 2.3, levando assim a uma redução substancial do número de peças defeituosas produzidas, pois uma vez que os resultados são obtidos em tempo real, os operadores conseguem tomar as devidas ações atempadamente.

Após a instalação do novo software de CEP nas diversas unidades da Amorim Cork tornou-se evidente a importância do treino estatístico nos mais diversos níveis organizacionais. Na maior parte dos locais onde o EPC foi instalado tornou-se notório o desconhecimento da importância do CEP. A maior parte dos operadores, apenas sabe que está a introduzir dados num programa informático, considerando este processo uma perda de tempo. Assim, recomenda-se que seja providenciada formação sobre a importância do CEP a todos os níveis hierárquicos, de modo a que todos os operadores se sintam motivados e conscientes da importância e efeitos práticos dos registos que devem realizar, assim como incentivá-los a realizar as medições de forma focada e correta, diminuindo a variabilidade e aumentando a fiabilidade dos dados registados.

4.9 Síntese

Ao longo do capítulo 5 foi realizada uma análise crítica ao CEP praticado na DeSousa, assim como aos resultados providenciados pelo EPC. O objetivo das referidas análises consistiu na comparação do CEP com as recomendações teóricas de modo a verificar se as mesmas estariam ou não a ser cumpridas.

Uma vez que foi detetado um cálculo errado dos limites de controlo e dos índices de performance do processo, fornecidos pelo EPC, recomenda-se que o cálculo dos mesmo seja revisto por parte do parceiro (algo que entretanto já está a ser realizado) e que a fase I de utilização das cartas de controlo seja realizada *offline*.

Disponibilizou-se por fim uma explanação da análise que poderá ser feita aos resultados do EPC tendo por base a variabilidade presente entre grupos consoante o filtro aplicado.

Um resumo das recomendações relativas ao CEP realizado pela DeSousa pode ser encontrado na Tabela 10.

Tabela 10: Síntese das recomendações realizadas

Problema detetado	Recomendações realizada
Inclusão de limites de especificação em cartas do tipo X-R.	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção de limites de controlo; • Implementação da fase I e II de utilização de cartas de controlo.
As características controladas através de cartas I-MR não seguem distribuições normais.	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção de cartas EWMA; • Normalização da característica.
Tamanho e frequência de amostra insuficientes nos setores da trituração, moldação e retificação.	<ul style="list-style-type: none"> • Redefinição da frequência da amostra na trituração; • Aumento do tamanho e frequência da amostra nos setores da moldação e retificação; • Adoção de cartas do tipo X-S.
Elevada variabilidade entre medições no setor da retificação.	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização do processo de recolha de rolhas.
CEP realizado <i>offline</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo entre a produção e controlo dos produtos.
Incompreensão dos operadores relativamente à importância do CEP.	<ul style="list-style-type: none"> • Formação dos operadores relativamente à importância do CEP na qualidade do produto.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação das principais conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento do presente projeto, além das recomendações de projetos análogos que possam ser futuramente desenvolvidos.

O grupo Corticeira Amorim SGPS, S.A., como líder de mercado do setor das rolhas de cortiça tem na qualidade dos seus produtos uma forma de assegurar a hegemonia neste mercado, recorrendo para isso ao controlo estatístico de processo realizado nas suas fábricas. Este contexto constituiu a principal motivação para este projeto de investigação cujo principal objetivo foi a realização de uma análise ao CEP praticado nas fábricas da Amorim Cork, com foco especial no CEP realizado pela DeSousa, fábrica de rolhas microaglomeradas pertencente ao referido grupo.

O projeto de análise ao CEP coincidiu pertinentemente com o projeto de implementação do novo software de CEP em quatro fábricas da Amorim Cork, pelo que foi também realizada uma análise ao novo software (EPC), com o propósito de verificar quais as vantagens que o mesmo poderia trazer ao CEP das diversas unidades industriais.

Com as análises realizadas ao processo de CEP da DeSousa e a introdução do novo software que auxilia este processo, verificou-se que a unidade industrial em questão ainda se encontra na fase I de utilização das cartas de controlo, sem nenhum tipo de limites de controlo definidos. Desta forma, foi sugerida uma metodologia que auxilia a introdução do novo software de CEP nas diversas unidades industriais, bem como elaboradas recomendações sobre como deve ser realizado o procedimento desde a fase I da utilização das cartas de controlo até à fase II.

Da referida metodologia destaca-se que deve ser realizada uma cuidada definição dos pontos de controlo e variáveis a controlar, uma vez que delas depende o tipo de cartas de controlo a ser utilizadas. Outro dos pontos a ressaltar na metodologia proposta prende-se com a formação aos operadores. Durante a introdução do EPC nas unidades industriais verificou-se alguma resistência à mudança por parte dos operadores, pelo que a formação e acompanhamento dos mesmos nesta transição é fulcral para a correta execução do CEP.

A fase I de utilização das cartas de controlo é crucial para a definição dos limites de controlo que irão ser utilizados para monitorizar o processo e para a estabilização desse mesmo processo. Concluiu-se por isso que deveriam ser controladas cerca de 100 unidades, correspondentes a cerca de 20 a 30 subgrupos, antes da definição dos limites de controlo iniciais e avaliação da presença de causas assinaláveis de variação, com o recálculo dos mesmos a ocorrer a cada 100 unidades até à estabilização do processo em análise. Após esta estabilização, a fase II de utilização de cartas de controlo poderia, então, ser iniciada de modo a manter o processo no estado definido.

Tendo por base a metodologia sugerida para introdução do novo software de CEP, foi realizada uma análise dos resultados providenciados pelo mesmo. Da análise realizada concluiu-se que o software realiza corretamente os cálculos dos valores dos limites de controlo à exceção dos casos em que os planos de inspeção são parametrizados para um grupo de artigos. Assim sendo, a DeSousa decidiu não considerar o valor dos limites calculados pelo software enquanto uma correção não for aplicada.

Nesta análise constatou-se, também, que no cálculo dos limites de controlo são apenas incluídos os pontos correspondentes a controlos aprovados. Mas, uma vez que a aprovação de um controlo é realizada através da comparação com os limites de especificação, considera-se esta técnica desadequada pelo que os limites de controlo devem ser calculados recorrendo a todos os pontos registados, e, no caso de, após o cálculo dos mesmos, ser detetada a presença de causas assinaláveis de variação, os pontos em questão deverão ser retirados e os limites recalculados.

Embora o parceiro responsável pelo EPC imponha condições para que os limites de controlo possam ser recalculados, a literatura apenas refere que é necessária a recolha de 20 a 25 amostras novas para o novo cálculo acontecer, tendo as condições referidas sido consideradas meramente arbitrárias. Constatou-se ainda que a fase I de utilização das cartas de controlo estava a ser realizada *online*, já que os operadores visualizam a cada controlo registado os limites de controlo experimentais, pelo que se recomenda que o EPC permita a omissão destes limites até que se atinja a fase II de utilização das cartas de controlo.

A análise dos resultados produzidos pelo EPC incluiu também uma avaliação dos valores calculados para os índices de capacidade e performance do processo. Uma vez que o processo produtivo não está num estado de controlo estatístico, os referidos índices não devem ser considerados relevantes, pelo que foi realizada apenas uma análise ao seu cálculo.

No setor da trituração concluiu-se que os referidos índices (C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk}) eram calculados de forma correta, existindo casos em que os índices de performance seriam superiores aos índices de capacidade do processo, algo que é aceitável tendo em conta o tamanho de amostra unitário. No entanto, a mesma situação foi detetada nos setores da retificação e moldação, algo já não justificável devido tamanho de amostra utilizado, pelo que se concluiu, assim que os índices de performance do processo não estariam a ser corretamente calculados, possivelmente devido ao cálculo errado do desvio padrão de longo prazo. Foi ainda verificado que no caso de a característica controlada se tratar da ovalidade, o valor dos índices de capacidade do processo não corresponde também ao valor real.

Tendo em conta que o EPC permite a aplicação de filtros durante a visualização das cartas de controlo, foi realizada uma verificação do impacto que cada um dos filtros poderia ter quando aplicados, de modo a compreender de que forma cada um deles afeta os fatores de variabilidade entre grupos na construção das cartas de controlo.

Durante a introdução do EPC nas variadas unidades industriais, verificou-se que algumas das práticas de CEP aplicadas não espelhavam as recomendações teóricas, pelo que foi necessário fazer um levantamento dessas práticas, e elaborar e redigir recomendações de melhoria das mesmas e modo a incrementar e garantir a qualidade dos produtos fabricados.

Foi também objeto central de análise a utilização de limites de especificação em todas as cartas de controlo como forma de controlar o processo. Apesar dos limites de especificação poderem ser introduzidos nas cartas I-MR, os mesmos não podem ser utilizados para controlar o processo, já que não representam o intervalo de variabilidade expectável devido a causas comuns de variação. Os referidos limites não devem, por isso, ser incluídos em cartas de controlo do tipo \bar{X} -R uma vez que a distribuição das médias possui uma variabilidade menor que a distribuição das amostras individuais. Recomenda-se assim a utilização de limites de controlo como método de controlo do processo produtivo.

Tendo em conta que na DeSousa são utilizadas cartas I-MR constou ainda desta análise uma avaliação à normalidade das distribuições das características que são controladas através do tipo de cartas referido, uma vez que este é um dos pressupostos imperiosos para a utilização das mesmas. Concluiu-se desta forma que apenas três características de catorze possuem uma distribuição normal, sendo por isso recomendável a adoção de cartas de controlo EWMA ou a transformação das variáveis em variáveis normais.

Um dos pontos críticos de qualquer processo de CEP prende-se com a definição da frequência e tamanho da amostra. Assim mostrou-se premente realizar uma verificação da representatividade das amostras utilizadas face ao processo em causa. Concluiu-se assim que, em nenhum dos processos analisados a amostra é representativa do volume de produção diário, pelo que seria necessária a redefinição do tamanho de amostra, nos setores da moldação e retificação, e da frequência de amostragem em todos os setores analisados. Considerando a

capacidade computacional atual, considera-se também importante a adoção de cartas do tipo \bar{X} -S, visto que o desvio padrão é o melhor estimador da variabilidade do processo.

No decorrer da introdução do EPC nas diversas unidades industriais verificou-se que no setor dos acabamentos mecânicos existia uma elevada variabilidade na realização dos controlos, uma vez que a etapa do processo em que é retirada a amostra varia consoante o operador. Assim, considera-se vantajosa a elaboração de normas de realização dos controlos de modo a anular o efeito do operador nos controlos realizados.

Finalmente, considerando que o presente documento retrata uma análise ao CEP, considerou-se ainda pertinente a realização de uma análise ao nível de estabilidade dos principais processos da DeSousa de modo a aferir qual destes estaria mais próximo de atingir a fase II de utilização de cartas de controlo. Assim, verificou-se que dentro do mesmo setor existem elevadas discrepâncias, sendo os processos mais estáveis os processos do setor da retificação. Ainda assim, foram encontradas diferenças no fabrico do mesmo produto nas duas secções da retificação, pelo que deverá ser realizada uma investigação da génese das diferenças encontradas.

Os objetivos propostos no capítulo 1 foram assim concretizados a totalidade: foi analisada a situação do CEP na Amorim Cork, providenciando recomendações sobre como os problemas detetados poderiam ser mitigados; foi também desenvolvida uma metodologia para a implementação do software de CEP e foi implementado o novo software de CEP em quatro unidades industriais, conseguindo-se que os operadores sejam autónomos na realização dos controlos necessários.

5.1 Trabalhos futuros

A presente secção tem como objetivo dar seguimento ao presente estudo sugerindo projetos futuros que podem ser desenvolvidos.

Tendo em conta que a definição da frequência e do tamanho da amostra é uma parte fulcral no processo de CEP, e dado que não existem recomendações gerais que possam ser aplicáveis a todos os processos, considera-se de extrema relevância a realização de um estudo com o intuito de determinar qual a frequência e o tamanho de amostra indicados para cada um dos setores do processo produtivo da DeSousa. Este estudo deverá ter em consideração os novos equipamentos que estão a ser desenvolvidos para melhorar o processo de CEP, assim como as potencialidades do software introduzido.

Apesar de as cartas de controlo desenvolvidas por Shewhart serem ferramentas bastante úteis e muito utilizadas na indústria, deve ser tido em consideração que as mesmas foram desenvolvidas há cerca de 100 anos, numa conjectura bastante diferente da atual. Assim, a Amorim Cork deveria seguir as tendências da Indústria 4.0, realizando uma monitorização *online* das características controladas. Uma vez atingida a estabilidade do processo produtivo, poderia também ser avaliada a introdução de cartas de controlo CUSUM, dada a sua eficácia na deteção de pequenos desvios do processo produtivo. Tal como já foi referido anteriormente, a introdução de cartas de controlo do tipo EWMA seria também bastante conveniente, dada a sua insensibilidade face ao requisito de normalidade das variáveis controladas.

Em linha com o que é descrito por Reis e Gins (2017), e considerando que a Amorim Cork já regista, através do software de CEP, o momento de mudança da lixa, poderiam ser aplicadas técnicas de *machine learning* de modo a construir um modelo que permita antecipar o momento no qual a troca da lixa das retificadoras seria necessária, evitando a produção de peças defeituosas devido ao desgaste da mesma. Assim, integrar-se-iam as atividades de CEP, com uma função mais preditiva, e manutenção, conseguindo assim otimização conjunta de ambos os processos.

Durante a realização deste projeto, tomou-se conhecimento de outros projetos a decorrer simultaneamente na DeSousa, como o estudo da variabilidade das moldadoras, ou testes às variáveis da estação de tratamento de granulado. Estes estudos encaixam no conceito de *Engineering Process Control*, mencionado na secção 2.6, e poderiam ser utilizados com o CEP de modo a diminuir a variabilidade do processo, manipulando os fatores em estudo de modo a atingir os valores pretendidos para cada uma das variáveis em análise.

Concluindo, a Amorim Cork deve procurar explorar as sinergias entre o CEP e as tecnologias emergentes, já mencionadas na secção 2.5, de modo a impulsionar a sua eficiência, qualidade e inovação na produção das suas rolhas, mantendo desta forma, inalterável, a sua posição de liderança a nível mundial.

Referências

- Almeida, António Fernando de Lacerda Queiroz E. 2020. «Data-Driven Models for Predictive Quality in Precision Metalworking». Porto: FEUP.
- Amorim, Corticeira. 2023. «Press Release». Mozelos. www.corticeiraamorim.com.
- Antony, Jiju, Alejandro Balbontin, e Tolga Taner. 2000. «Key ingredients for the effective implementation of statistical process control». <http://www.emerald-library.com>.
- Antony, Jiju, e Tolga Taner. 2003. «A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control». *Business Process Management Journal* 9 (4): 473–89. <https://doi.org/10.1108/14637150310484526>.
- Brannstrom-Stenberg, Ann, e Mats Deleryd. 1999. «Implementation of statistical process control and process capability studies: Requirements or free will?» *Total Quality Management* 10 (4–5): 439–46. <https://doi.org/10.1080/0954412997389>.
- «Control charts-Part 2: Shewhart control charts INTERNATIONAL STANDARD ISO 7870-2 22:15:37 MST No reproduction or networking permitted without license from IHS ISO 7870-2:2013(E) ii COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT 22:15:37 MST No reproduction or networking permitted without license from IHS ISO 7870-2:2013(E)». 2013.
- «Control Limits vs. Specification Limits | Northwest Analytics». s.d. Northwest Analytics. Acedido a 3 de Maio de 2023. <https://www.nwasoft.com/resources/information-center/article/control-limits-vs-specification-limits>.
- Crosby, Philip B. 1980. *Quality is Free*. New York.
- Deming, W. Edwards. 1986. *Out of The Crisis*. MIT.
- Does, R. J. M. M., W. A. J. Schippers, e A. Trip. 1997. «Framework for implementation of SPC A framework for implementation of statistical process control».
- Fernandez, Javier. 2022. «Choose the appropriate normality test». Towards Data Science. 12 de Junho de 2022. <https://towardsdatascience.com/choose-the-appropriate-normality-test-d53146ca1f1c>.
- Flaig, John J. 2010. «When to Recalculate Control Limits». 26 de Fevereiro de 2010. <https://www.isixsigma.com/control-charts/when-recalculate-control-limits/>.
- Garvin, David A. 1987. «Competing on the Eight Dimensions of Quality Harvard Business Review».
- Hessing, Ted. s.d. «Specification Limits». Six Sigma Study Guide. Acedido a 3 de Maio de 2023. <https://sixsigmastudyguide.com/specification-limits/>.
- «Indústria da cortiça “saca” recorde de 1.200 milhões nas exportações – ECO». 2023. Eco Sapo. 2023. <https://eco.sapo.pt/2023/02/12/industria-da-cortica-saca-recorde-de-1-200-milhoes-nas-exportacoes/>.
- Javid, Mohd, Abid Haleem, Ravi Pratap Singh, e Rajiv Suman. 2021. «Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector». *Sensors International* 2 (Janeiro): 100109. <https://doi.org/10.1016/J.SINTL.2021.100109>.
- Madanhire, Ignatio, e Charles Mbohwa. 2016. «Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country». *Procedia CIRP* 40 (Janeiro): 580–83. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.01.137>.

- McNeese, Bill. 2016. «How Much Data Do I Need to Calculate Control Limits? – SPC for Excel Software». Agosto de 2016. <https://www.spforexcel.com/knowledge/control-chart-basics/how-much-data-do-i-need-calculate-control-limits#impact>.
- Mohd Razali, Nornadiah, e Yap Bee Wah. 2011. «Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests». *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2: 21–33.
- Montgomery, Douglas. 2013. *Introduction to Statistical Quality Control*. Editado por Jennifer Welter, Sujin Hong, e Lauren Sapira. Seventh. Wiley.
- Motwani, Jaideep, Ashok Kumar, e Chun Hung Cheng. 1994. «A roadmap to implementing ISO 9000». *International Journal of Quality & Reliability Management* 13 (1).
- OAKLAND, J. 2008a. «Other types of control charts for variables». Em *Statistical Process Control*, 151–91. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50010-9>.
- . 2008b. «Process capability for variables and its measurement». Em *Statistical Process Control*, 257–73. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50013-4>.
- . 2008c. «Process control by attributes». Em *Statistical Process Control*, 192–223. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50011-0>.
- . 2008d. «Process control using variables». Em *Statistical Process Control*, 105–50. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50009-2>.
- . 2008e. «Quality, processes and control». Em *Statistical Process Control*, 3–22. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50004-3>.
- . 2008f. «Understanding the process». Em *Statistical Process Control*, 23–41. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50005-5>.
- . 2008g. «Variation: understanding and decision making». Em *Statistical Process Control*, 63–82. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-6962-7.50007-9>.
- . 2008h. «The implementation of statistical process control». Em *Statistical Process Control*, 382–90. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6962-7.50018-3>.
- Pires, Verônica Tassinari. 2000. «Implantação do Controlo Estatístico de Processo em uma Empresa de Manufatura de Óleo de Arroz». Porto Alegre: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- «Realcork – Estatísticas». s.d. Apcor. Acedido a 6 de Março de 2023. <https://www.apcor.pt/media-center/estatisticas/>.
- «Realcork – O que é?». s.d. Apcor. Acedido a 6 de Março de 2023. <https://www.apcor.pt/cortica/o-que-e/>.
- Reeves, Carol A, e David A Bednar. 1994. «Defining Quality: Alternatives and Implications». *Source: The Academy of Management Review*. Vol. 19. <https://www.jstor.org/stable/258934?seq=1&cid=pdf->.
- Reis, Marco S., e Geert Gins. 2017. «Industrial process monitoring in the big data/industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis». *Processes* 5 (3). <https://doi.org/10.3390/pr5030035>.
- Requeijo, José Fernando Gomes. 2003. «Abordagem Tradicional do Controlo Estatístico do Process». Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Riley, James F., e J. M. (Joseph M.) Juran. 1999. *The quality improvement process*. McGraw-Hill.

- Sader, Sami, Istvan Husti, e Miklos Daroczi. 2022a. «A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges». *Total Quality Management and Business Excellence*. Routledge. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>.
- . 2022b. *A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges*. *Total Quality Management and Business Excellence*. Vol. 33. Routledge. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>.
- Santiago, David. 2017. «Corticeira Amorim compra 60% da Bourrassé por 29 milhões de euros». *Jornal de Negócios*. 19 de Julho de 2017. <https://www.jornaldenegocios.pt/mercados/bolsa/detalhe/corticeira-amorim-compra-60-da-bourrasse-por-29-milhoes-de-euros>.
- Shewhart, Walter A. (Walter Andrew). 1931. *Economic control of quality of manufactured product*. American Society for Quality.
- Veléz, Laura. s.d. «How do you determine the optimal sample size and frequency for SPC in Lean Six Sigma?» LinkedIn. Acedido a 25 de Maio de 2023. <https://www.linkedin.com/advice/1/how-do-you-determine-optimal-sample-size-frequency>.
- Watson, Rick M. 1998. «Implementing self-managed process improvement teams». Vol. 10.
- Western Electric Company. 1956. *Statistical Quality Control Handbook*. 2.^a ed. Easton: Western Electric Company.

ANEXO A: Cronograma

Tabela 11: Cronograma de implementação do EPC (Fonte: Amorim Cork)

Ano	2023					
Uls	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
DS	Preparação Projeto	Alinhamento Funcional	Ready to Go, Go live, Hypercare			
EQ	Preparação Projeto	Preparação Projeto	Alinhamento Funcional	Ready to Go, Go live, Hypercare		
CHK			Preparação Projeto	Alinhamento Funcional	Ready to Go, Go live, Hypercare	
SCR				Preparação Projeto	Alinhamento Funcional	Ready to Go, Go live, Hypercare

Legenda: Preparação Projeto Alinhamento Funcional Ready to Go, Go live, Hypercare

ANEXO B: Cartas de controlo

Cartas de controlo para variáveis

As cartas de controlo para variáveis são uma das ferramentas mais comuns do CEP. Estas são utilizadas para tratar características cujos valores são medidos em escalas contínuas como peso, massa e dimensões. O gráfico apresentado na Figura 3 apresenta 3 cartas de controlo diferentes para variáveis que serão de seguida apresentadas. Ao analisar variáveis é importante controlar não só o valor médio, mas também a sua variabilidade. Como tal, são sempre utilizadas duas cartas de controlo para esse efeito.

Cartas de controlo \bar{X} -R

As cartas de controlo \bar{X} -R (Figura 22) são as mais utilizadas na indústria devido à sua simplicidade. Este conjunto de cartas é utilizado para tamanhos de amostra reduzidos, uma vez que o método da amplitude perde eficiência com o aumento do tamanho da amostra. A literatura difere no que respeita ao tamanho de amostra máximo até ao qual é possível a utilização das cartas R, sendo sugeridos valores como 8, 10 e 12 unidades. Para a construção destas cartas devem ser analisadas, no mínimo, 20 a 25 amostras.

A carta \bar{X} é a carta das médias dos valores recolhidos na amostra. Nesta carta é assumido que a distribuição da característica de qualidade é normal. Como foi explicitado no presente documento, mesmo que a assunção não se verifique, o teorema do limite central valida a utilização das cartas de controlo mencionadas.

As fórmulas 21 a 23 devem ser utilizadas na construção deste tipo de cartas, quando não há um valor histórico para a média e desvio padrão:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \times \bar{R} \quad (21)$$

$$Linha\ Central = \bar{\bar{x}} \quad (22)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \times \bar{R} \quad (23)$$

Nas equações 21 a 23, $\bar{\bar{x}}$ compreende a média de todos os valores individuais, \bar{R} é a média das amplitudes de todas as amostras, e A_2 é uma constante que depende do tamanho da amostra. No ANEXO G é possível encontrar a tabela com o valor A_2 para cada tamanho de amostra. Cada ponto do gráfico representa a média de cada amostra.

Por outro lado, a carta R, é utilizada para analisar a variabilidade dentro da amostra. Esta carta pode ser construída utilizando o conjunto de equações 24 a 26:

$$LSC = D_4 \times \bar{R} \quad (24)$$

$$Linha\ Central = \bar{R} \quad (25)$$

$$LIC = D_3 \times \bar{R} \quad (26)$$

A amplitude (R) de cada amostra pode ser calculada subtraindo ao maior valor individual da amostra o menor valor mesma. \bar{R} é então a média das amplitudes e D_3 e D_4 são também constantes que variam com o tamanho da amostra. Uma vez que as constantes apresentam diferentes valores, os limites de controlo deste gráfico serão assimétricos (Oakland 2008d). O ANEXO G disponibiliza as tabelas com os valores destas constantes para cada tamanho de

amostra. Note-se que no caso de o LIC ser negativo na carta R, o valor do mesmo deve ser substituído por 0 já que não existem amplitudes negativas.

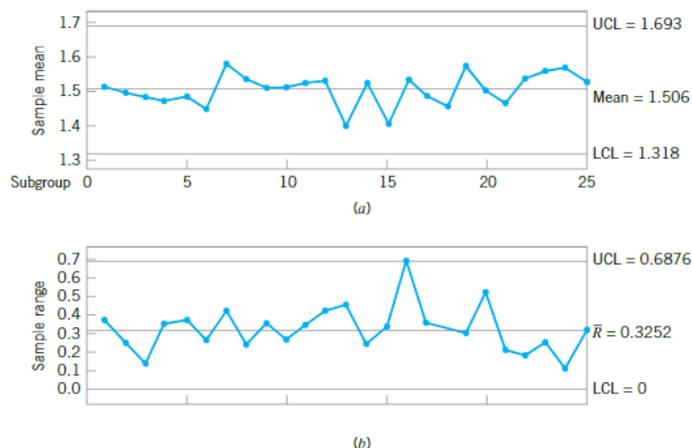


Figura 22: Exemplo de Cartas de Controlo \bar{X} -R (Fonte: Montgomery 2013)

Apesar de serem as cartas de controlo mais utilizadas no meio industrial, as cartas R apresentam algumas desvantagens que devem ser consideradas:

- A amplitude tende a aumentar com o tamanho da amostra, como tal, um processo pode estar fora de controlo estatístico, apesar do gráfico R não mostrar indícios dessa situação, por o tamanho da amostra ser demasiado pequeno.
- O cálculo da amplitude usa apenas dois pontos, não utilizando a totalidade da informação disponibilizada. Assim, podem existir mudanças na média do processo e a amplitude manter-se constante (OAKLAND 2008d).

Cartas de Controlo \bar{X} -S

As cartas de controlo \bar{X} -S (Figura 23) utilizam-se quando o tamanho da amostra aumenta, deixando de ser possível a utilização das cartas R, devido à falta de eficiência em representar a variabilidade existente na amostra, já que estas consideram apenas dois valores da mesma. Assim, para tamanhos de amostra de maiores dimensões é recomendável o uso deste conjunto de cartas. A teoria é divergente no que respeita à recomendação de um valor teórico a partir do qual devem ser utilizadas cartas do tipo \bar{X} -S, com os autores a recomendar o seu uso para amostras de tamanho superior a 8, 10 ou 12 unidades. Para estas cartas é também recomendada a utilização de 20 a 25 amostras para construção dos limites de controlo e determinação da linha central.

Tal como nas cartas apresentadas anteriormente, a carta \bar{X} é a carta das médias, e são assumidos os mesmos pressupostos. A construção da carta \bar{X} é realizada com recurso às formulas 27 a 29:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_3 \times \bar{s} \quad (27)$$

$$Linha\ Central = \bar{\bar{x}} \quad (28)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_3 \times \bar{s} \quad (29)$$

Da mesma forma que nas cartas \bar{X} -R, o valor de $\bar{\bar{x}}$ é calculado através da média de todos os valores individuais. A_3 é uma constante cujo valor depende do tamanho da amostra e que se encontra tabelada no ANEXO G. Neste caso, \bar{s} representa a média das estimativas dos desvios padrão dentro de cada amostra.

As cartas S, tal como as cartas R, são utilizadas para estimar a variabilidade dentro da amostra. Os valores dos elementos constituintes desta carta podem ser obtidos pelas fórmulas 30 a 31:

$$LSC = B_4 \times \bar{s} \tag{30}$$

$$\text{Linha Central} = \bar{s} \tag{31}$$

$$LIC = B_3 \times \bar{s} \tag{32}$$

O valor da estimativa para o desvio padrão de cada uma das amostras é obtido através da equação 33:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{33}$$

Na fórmula apresentada, s representa o desvio padrão da amostra, x_i representa um valor individual dessa amostra, \bar{x} é a média da amostra e n é o número de elementos da amostra.

As equações do LSC e do LIC incluem as constantes B_4 e B_3 , cujos valores podem ser obtidos no ANEXO G.

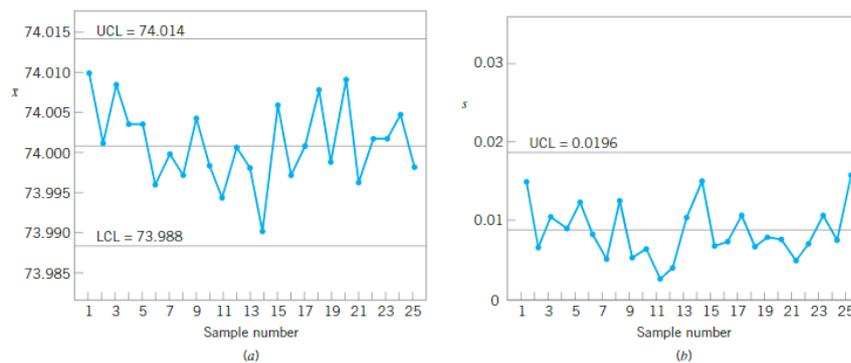


Figura 23: Exemplo de Cartas de Controlo \bar{X},S (Fonte: Montgomery 2013)

Note-se ainda que tanto para as cartas de controlo $\bar{X}-R$, como para as cartas de controlo $\bar{X}-S$, é possível serem utilizadas amostras de tamanho variável. Também em ambos os casos, se existir um valor histórico disponível, relativo à média, amplitude ou desvio padrão da amostra as fórmulas utilizadas para a construção dos gráficos serão diferentes. No entanto, não foram apresentadas as equações de tamanho de amostra variável nem de valor histórico existente visto não serem pertinentes para o caso em análise.

Cartas de Controlo I-MR

As cartas de controlo mais simples são as cartas I-MR (Figura 24), utilizadas para amostras unitárias (Oakland 2008a). Diversas são as situações em que é necessária a utilização de amostras de tamanho 1, de entre as quais se destacam os casos em que há um sistema de inspeção total, no qual todas as unidades são individualmente analisadas, no caso de a amostra ser indivisível, isto é, o material em análise não poder ser dividido em unidades, como no caso de indústrias de processos contínuos, e/ou caso a obtenção de dados seja extremamente morosa.

Nos casos mencionados, visto apenas existir uma unidade por amostra, a computação da amplitude da amostra não é possível. Desta forma, com o intuito de medir a variabilidade do processo são utilizadas as cartas MR (em inglês *moving range*, que significa amplitude móvel). A amplitude móvel é calculada entre valores de amostras consecutivas pela fórmula 34:

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (34)$$

Na equação apresentada x_i representa o valor da amostra atual, enquanto x_{i-1} representa o valor da amostra anterior. Estes são os valores representados na carta MR.

A determinação dos elementos da carta de controlo deve ser realizada com recurso às fórmulas 35 a 37:

$$LSC = D_4 \times \overline{MR} \quad (35)$$

$$\text{Linha Central} = \overline{MR} \quad (36)$$

$$LIC = D_3 \times \overline{MR} \quad (37)$$

Nas equações apresentadas, \overline{MR} corresponde à média de todas as amplitudes móveis e D_3 e D_4 , são constantes que variam consoante o tamanho da amostra, e o seu valor pode ser consultado no ANEXO G.

No gráfico I, os pontos marcados são valores das próprias medições. Por esse mesmo motivo estas são as únicas cartas de controlo nas quais é possível representar limites de especificação. De modo a estabelecer os limites de controlo e linha central desta carta de controlo devem ser usadas as equações 38 a 40:

$$LSC = \bar{x} + 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (38)$$

$$\text{Linha Central} = \bar{x} \quad (39)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (40)$$

Note-se que \bar{x} representa a média de todas as medições, enquanto d_2 é uma constante cujo valor é 1.128.

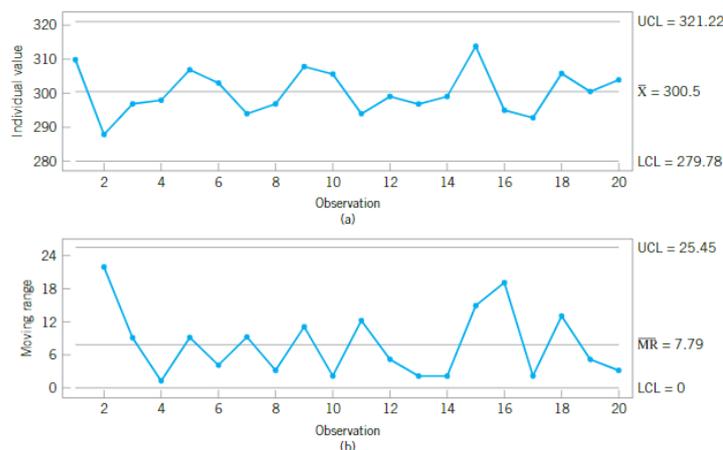


Figura 24: Exemplo das cartas de controlo I-MR (Fonte: Montgomery 2013)

Oakland (2008a) assinala que apesar das cartas I indicarem mudanças no valor esperado do processo e na variabilidade do mesmo, estas apresentam dificuldades na deteção de mudanças de baixa magnitude na média do processo face à capacidade de deteção de uma carta \bar{X} . Neste tipo de cartas a assunção da normalidade da característica controlada é fulcral.

Cartas de controlo para atributos

As cartas de controlo para atributos permitem controlar processos cujas características não são mensuráveis. Este tipo de cartas pode ser utilizado quer o objetivo do controlo seja apenas a classificação das peças produzidas como defeituosas ou não defeituosas (cartas p e Np), quer se pretenda contabilizar o número ou proporção de defeitos (cartas c e u). No presente documento apenas serão apresentadas as cartas p pois apenas essas são utilizadas no processo em análise.

Cartas de controlo p

As cartas de controlo p (Figura 25) permitem ilustrar a proporção de peças que se encontram classificadas como não conformes. Esta proporção(p) deve ser calculada através do rácio 41:

$$\hat{p} = \frac{D}{n} \quad (41)$$

Na equação apresentada, D representa o número de unidades não conformes na amostra, enquanto n é o tamanho da amostra.

O gráfico de proporção de peças defeituosas pode ser construído com recurso às equações 42 a 44, nas quais \bar{p} representa o valor médio das proporções de cada amostra:

$$LSC = \bar{p} + 3 \times \sqrt{\frac{\bar{p} \times (1 - \bar{p})}{n}} \quad (42)$$

$$\text{Linha Central} = \bar{p} \quad (43)$$

$$LIC = \bar{p} - 3 \times \sqrt{\frac{\bar{p} \times (1 - \bar{p})}{n}} \quad (44)$$

No caso do LIC ser negativo, deve tomar o valor 0 já que não existem proporções negativas.

Este tipo de cartas de controlo pode ainda ser utilizado com amostras de diferentes tamanhos, devendo no entanto as fórmulas apresentadas ser ajustadas.

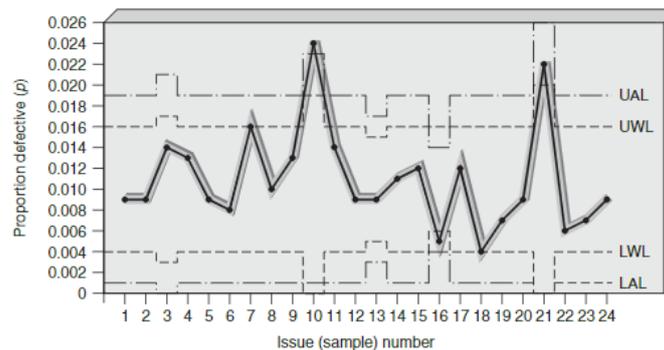


Figura 25: Exemplo de Carta de Controlo p (Fonte: Oakland 2008a)

Oakland (2008c) refere que este tipo de gráfico não é tão sensível como as cartas \bar{X} -R a detetar mudanças na taxa de peças defeituosas produzidas pelo processo.

Interpretação das cartas de controlo

Apesar de as cartas de controlo serem uma das ferramentas mais utilizadas na indústria existe ainda um elevado desconhecimento relativo à sua interpretação. Esta falta de conhecimento é resultado da ausência de treino estatístico dos operadores por falta de investimento em

qualidade por parte das empresas. Assim sendo, a presente subsecção tem como objetivo apresentar uma breve explicação de como as cartas de controlo devem ser interpretadas.

Tal como foi previamente referido, qualquer ponto que se encontre fora dos limites de controlo deve ser alvo de uma análise cuidada. No caso de cartas de controlo para variáveis, primeiramente devem ser analisadas as cartas R, S ou MR, de modo a controlar a variabilidade dentro de cada amostra. Após todos os pontos das referidas cartas se encontrarem dentro dos limites de controlo, a carta \bar{X} ou I deve ser analisada, de modo a detetar eventuais sinais de variação entre amostras ou mudanças no valor esperado do processo.

As técnicas referidas compreendem a interpretação mais básica das cartas de controlo. No entanto, se apenas se aplicassem os critérios mencionados, estaria a ser desaproveitado o potencial desta ferramenta. Ao analisar cartas de controlo, é necessário ter em atenção eventuais ciclos, tendências, mistura de padrões ou mudanças na média que possam estar ilustrados no gráfico (Figura 26).

Caso seja detetado um comportamento cíclico no gráfico \bar{X} , o mesmo pode ser resultante de mudanças sistemáticas tais como variações de temperatura, fadiga dos operadores ou de diferenças entre máquinas e/ou operadores. Caso este comportamento seja detetado no gráfico R, pode dever-se a questões de manutenção ou desgaste das máquinas. Uma tendência é caracterizada por um movimento ascendente ou descendente dos pontos no gráfico. Isto pode ser justificado pela deterioração dos equipamentos utilizados. Por outro lado, uma mistura de padrões é assinalável quando os pontos são marcados muito próximo dos limites de controlo, não existindo pontos com proximidade à linha central. Este facto pode evidenciar o resultado de ajustes muito frequentes no processo. Mudanças no valor esperado do processo ocorrem devido a variações de operários, matéria-prima ou máquinas.



Figura 26: Ilustração de cartas de controlo que apresentam ciclos, misturas de padrões, mudanças na média e tendências (Fonte: Montgomery 2013)

Outro comportamento assinalável e que merece atenção é a tendência dos pontos se aglomerarem em torno da linha central, que pode significar que foram recolhidas amostras de misturas de populações com valores esperados diferentes (Figura 27).

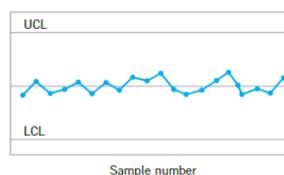


Figura 27: Ilustração de carta de controlo com aglomeração de pontos em volta da linha central (Fonte: Montgomery 2013)

Além dos padrões mencionados, a Western Electric Company (1956) sugere ainda um conjunto de regras de sensibilização para a deteção de padrões não aleatórios nas cartas de controlo. As regras são as seguintes:

- Um ponto fora dos limites de controlo;
- 2 de 3 pontos consecutivos situados depois dos limites de atenção (em inglês, *warning limits*), situados a 2 desvios padrão da linha central;

- 4 de 5 pontos consecutivos situados a uma distância de 1 desvio padrão ou mais da linha central;
- 8 pontos consecutivos de um dos lados da linha central.

Note-se que estas regras apenas se aplicam a um lado da linha central. Às regras apresentadas Montgomery (2013) adiciona as seguintes:

- 6 pontos numa tendência ascendente ou descendente;
- 15 pontos situados na zona C (esta regra deve se aplicar a ambos os lados da linha central);
- 14 pontos seguidos a alternar consecutivamente no sentido ascendente e descendente;
- 8 pontos seguidos de em lado da linha central sem nenhum na zona C;
- Padrão não aleatório dos dados;
- Um ou mais pontos próximos dos limites de controlo ou de atenção.

As zonas mencionadas podem ser visualizadas na Figura 28:

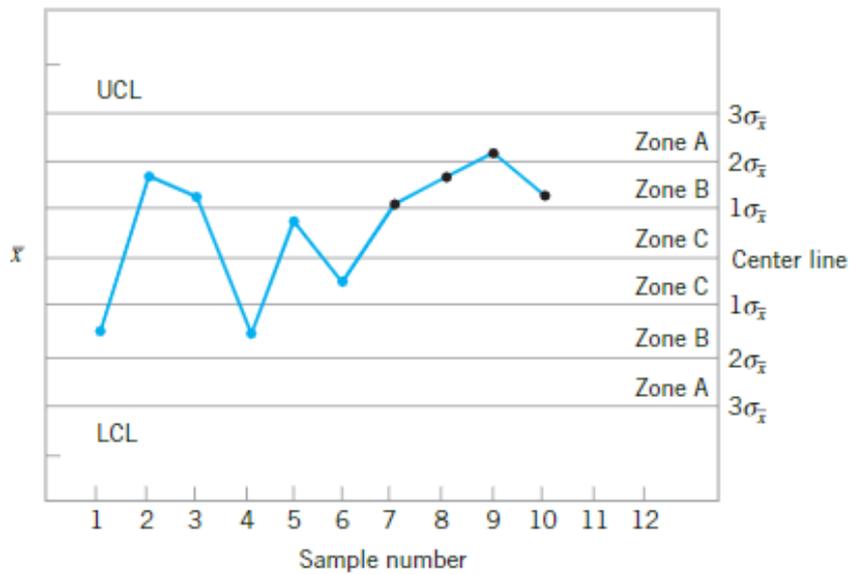


Figura 28: Carta de controlo com marcação de zonas (Fonte: Montgomery 2013)

Note-se que as regras mencionadas devem ser utilizadas com cautela de modo a evitar um excesso de avisos e consequentemente um excesso de ajustes desnecessários no processo.

ANEXO C: Figuras adicionais



Figura 29: Moinho MDT da DeSousa



Figura 30: Moinho K800 da DeSousa



Figura 31: Mesa Densimétrica da DeSousa



Figura 32: Secador de granulado da DeSousa



Figura 33: Silo de estabilização e silo de abastecimento de granulado da DeSousa



Figura 34: Moldadora da DeSousa



Figura 35: Retificadora da DeSousa



Figura 36: Silo de alimentação, Tambor de lavação e Silo de descarga da DeSousa



Figura 37: Estação de Secagem de Rolhas da DeSousa



Figura 38: Máquina de escolha automática da DeSousa



Figura 39: Máquina de deteção de metais da DeSousa

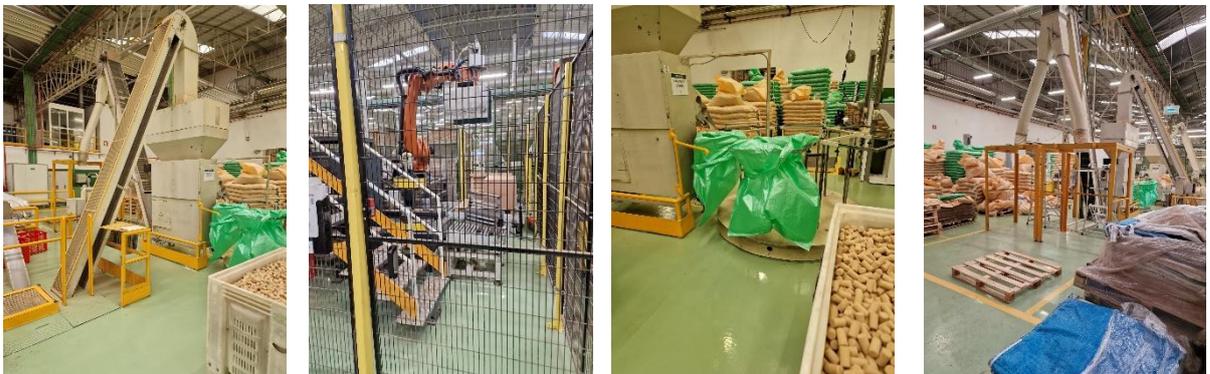


Figura 40: Máquina de contar, Robô, Sacos de Ráfia e Embalamento para Big Bag da DeSousa



Figura 41: Balança da DeSousa



Figura 42: Balança de Granulado da DeSousa



Figura 43: Balança de Humidade da DeSousa



Figura 44: Higrómetro da DeSousa com adaptação para medição de granulado, à esquerda, e medição de rolhas, à direita



Figura 45: MedCork da DeSousa



Figura 46: Paquímetro da DeSousa



Figura 47: Comparador da DeSousa



Figura 48: Aquário da DeSousa



Figura 49: Peneires da DeSousa

ANEXO D: Análises de Pareto

Tabela 12: Análise de Pareto ao setor da moldação

Artigo	Quantidade	% Relativa	%Total
Corpo 2	146102681	56,73%	56,73%
Corpo 3	35383906	13,74%	70,47%
Corpo 1	32321812	12,55%	83,02%
Corpo 4	17840496	6,93%	89,95%
Corpo 6	10808380	4,20%	94,15%
Corpo 5	5931078	2,30%	96,45%
Corpo 7	3071840	1,19%	97,64%
Corpo 8	2684556	1,04%	98,69%
Corpo 9	1791064	0,70%	99,38%
Corpo 10	1590952	0,62%	100,00%

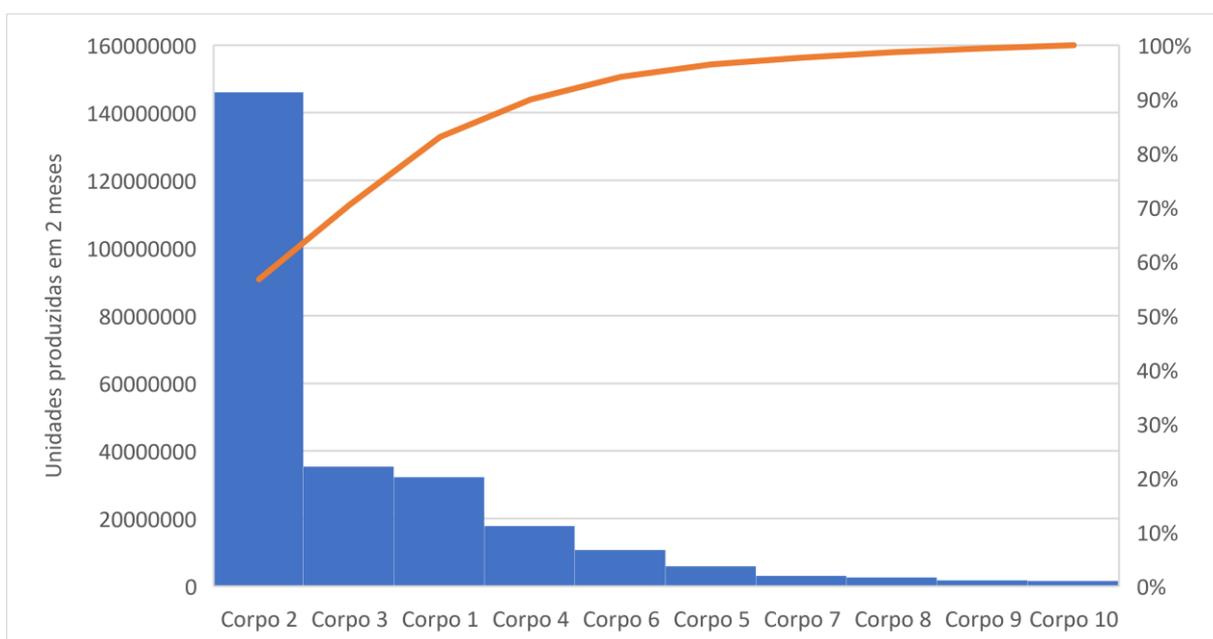


Figura 50: Gráfico de Pareto do setor da moldação

Tabela 13: Análise de Pareto ao setor da retificação

Artigo	Quantidade	% Relativa	%Total
Rolha 3	121228467	42,55%	42,55%
Rolha 8	33948310	11,91%	54,46%
Rolha 4	32427416	11,38%	65,84%
Rolha 1	24466004	8,59%	74,43%
Rolha 2	7819981	2,74%	77,17%
Rolha 6	7810298	2,74%	79,91%
Rolha 7	6797851	2,39%	82,30%
Rolha 9	5810985	2,04%	84,34%
Rolha 10	4249583	1,49%	85,83%
Rolha 11	4147628	1,46%	87,28%
Rolha 12	4002328	1,40%	88,69%
Rolha 13	3420904	1,20%	89,89%
Rolha 14	3341748	1,17%	91,06%
Rolha 15	3111867	1,09%	92,15%
Rolha 16	3032177	1,06%	93,22%
Rolha 17	2482569	0,87%	94,09%
Rolha 18	2460082	0,86%	94,95%
Rolha 19	2364264	0,83%	95,78%
Rolha 20	2076985	0,73%	96,51%
Rolha 21	1642464	0,58%	97,09%
Rolha 22	1488101	0,52%	97,61%
Rolha 23	1403436	0,49%	98,10%
Rolha 24	1266224	0,44%	98,55%
Rolha 25	1119248	0,39%	98,94%
Rolha 26	868542	0,30%	99,25%
Rolha 27	745760	0,26%	99,51%
Rolha 28	425822	0,15%	99,66%
Rolha 29	425779	0,15%	99,81%
Rolha 30	269462	0,09%	99,90%
Rolha 31	136163	0,05%	99,95%
Rolha 32	81179	0,03%	99,98%
Rolha 33	66556	0,02%	100,00%

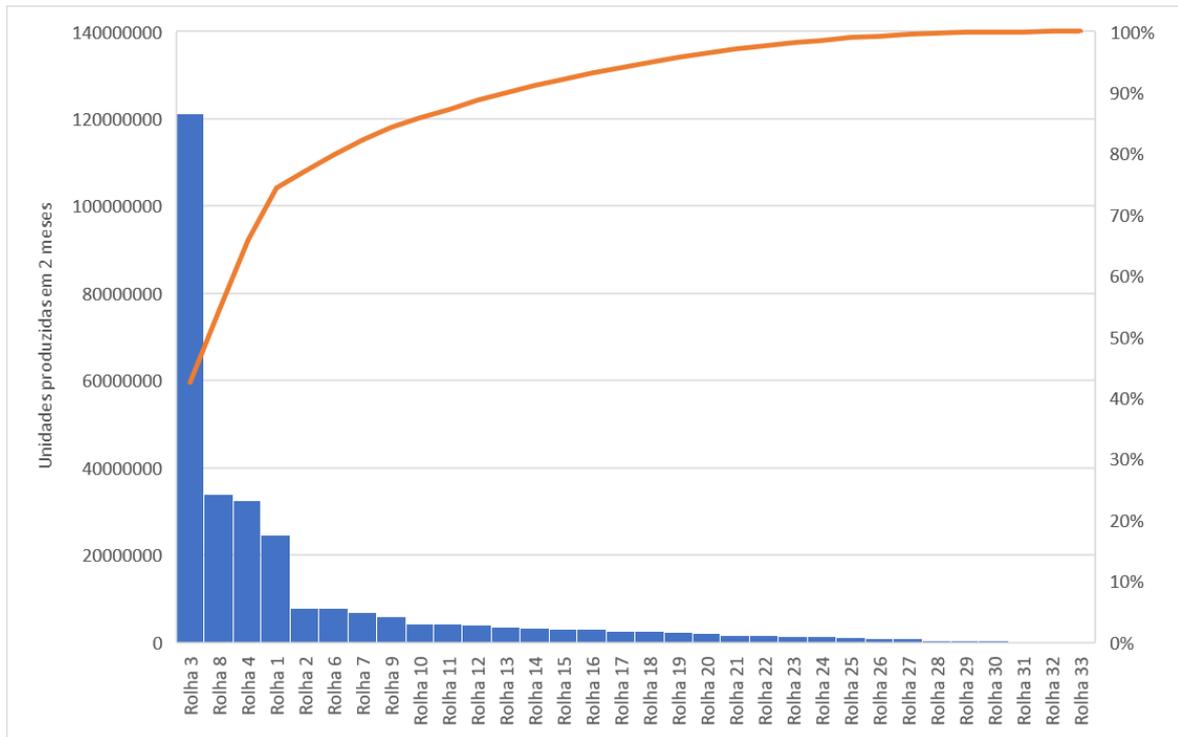


Figura 51: Gráfico de Pareto do setor da retificação

ANEXO E: Tabelas resumo das análises realizadas

Tabela 14: Tabela resumo a análise realizada às cartas de controlo da moldação

		Carta R	Carta X
Corpo 1	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • LSC superior a LSC teórico; • LIC inferior a LIC teórico; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo inferiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • LSC superior a LSC teórico; • LIC inferior a LIC teórico; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
Corpo 2 Especial	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • LSC superior a LSC teórico; • LIC inferior a LIC teórico; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo inferiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo inferiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo inferiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo superiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de controlo inferiores aos teóricos; • Amplitude entre os limites superior à teórica;

		Carta R	Carta X
Corpo 3	Humidade	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos;	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos
	Massa Volúmica	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos;	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos;	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos
	Massa	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos;	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos;	•Limites de controlo coincidentes com os teóricos
Corpo 3 Especial	Humidade	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;	•LSC superior a LSC teórico; •LIC inferior a LIC teórico; •Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa Volúmica	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Comprimento	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Massa	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;
	Diâmetro	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;	•Limites de controlo superiores aos teóricos; •Amplitude entre os limites superior à teórica;

Tabela 15: Tabela resumo a análise realizada aos índices de capacidade e performance da moldação

		Indicadores de Capacidade e Performance
Corpo 1	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
Corpo 2 Especial	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> •Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; •Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; •Pp>Cp; •Ppk>Cpk;

		Indicadores de Capacidade e Performance
Corpo 3	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
Corpo 3 Especial	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Massa Volúmica	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Comprimento	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;
	Diâmetro	<ul style="list-style-type: none"> • Pp e Ppk superiores aos valores teóricos; • Cp e Cpk coincidem com os valores teóricos; <ul style="list-style-type: none"> • Pp > Cp; • Ppk > Cpk;

Tabela 14: Tabela resumo a análise realizada às cartas de controlo da retificação

		Carta X	Carta R
Rolha 1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 2	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 3 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 3 R2	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 4 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 4 R2	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos

		Carta X	Carta R
Rolha 5 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 6 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 6 R2	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 7 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 7 R2	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
Rolha 8 R1	Ovalidade	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Comprimento	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos
	Diâmetro	•Limites de controlo coincidem com os teóricos	•Limites de controlo coincidem com os teóricos

ANEXO F: Tabela resumo do número de cartas de controlo

Tabela 17: Tabela resumo do número de cartas de controlo

Processo	Característica	Frequência	Tipo de carta utilizado	Planos de Inspeção	Grupos de artigos	Artigos	Turnos	Máquinas
Trituração	Massa Volumica	RN - 2 em 2 horas	IMR	9	4	11	2/dia	
	Humidade	RCT- 1 em 1 hora						
	Massa Volumica Corrigida	AD,BD,ADX,ADL- 3 vezes por turno de 12 horas						
Secadores	Tamanho de Grão	RN,RCT- 1 vez por dia	IMR	1	0	1	3/dia	4
	Humidade	3 vezes por turno, por secador	IMR					
	Temperatura		IMR					
Silos	Massa Volumica	1 vez por turno, por silo	IMR	2	0	2	3/dia	7
	Humidade							
	Massa Volumica Corrigida							
Moldação	Comprimento	2 vezes por turno, por moldadora	XR	10	4	12	3/dia	15
	Diâmetro							
	Humidade							
	Massa Volumica Corrigida							
	Massa							
	Fugas Centrais							
Fugas Laterais	1 vez por turno, por moldadora	P						
Retificação	Comprimento	2 em 2 horas, por linha de retificação	XR	16	6	31	3/dia	29
	Diâmetro							
	Diâmetro Médio							
	Ovalidade							
Lavação	Humidade	1 vez por lote	XR	10	7	49	3/dia	3
Embalagem	Humidade	1 vez por lote	XR	16	13	78	3/dia	4
	Massa	1 vez por turno	XR	12	7	18	3/dia	2

ANEXO G: Fatores para construção de cartas de controlo de variáveis

Observations in Sample, n	Chart for Standard Deviations										Chart for Ranges					
	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits		Factors for Center Line		Factor for Control Limits	Factors for Control Limits		Factors for Center Line		Factor for Control Limits	Factors for Control Limits		Factors for Control Limits			
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	1.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For n > 25.

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

Figura 52: Fatores para construção de cartas de controlo (Fonte: Montgomery 2013)

ANEXO H: Análise à normalidade das variáveis às quais são aplicadas cartas I-MR

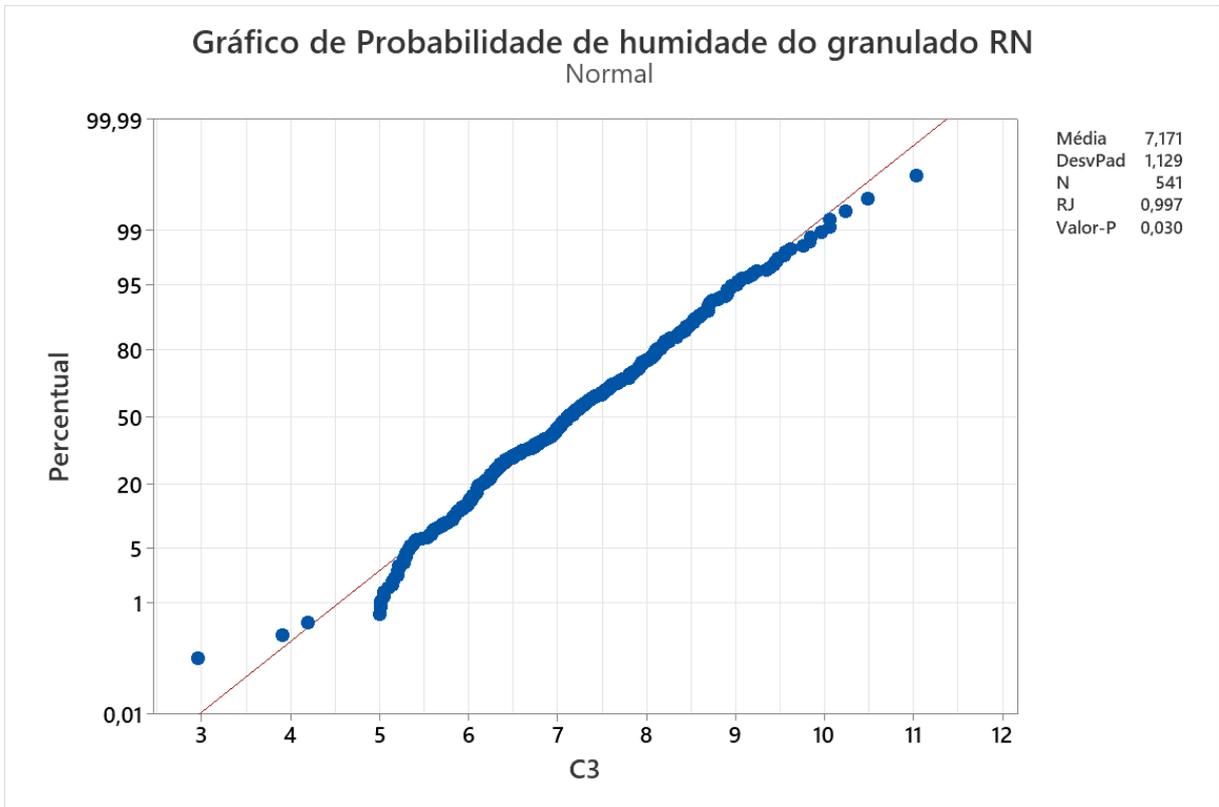


Figura 53: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN

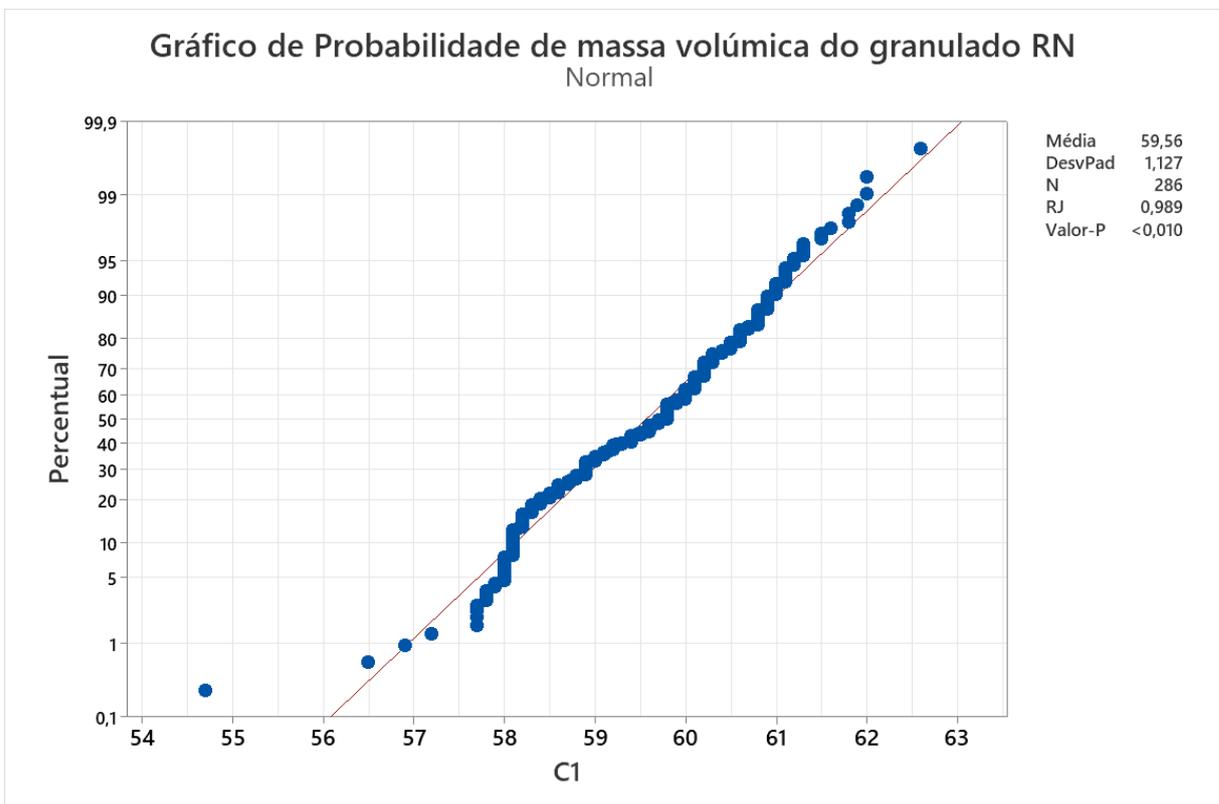


Figura 54: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RN

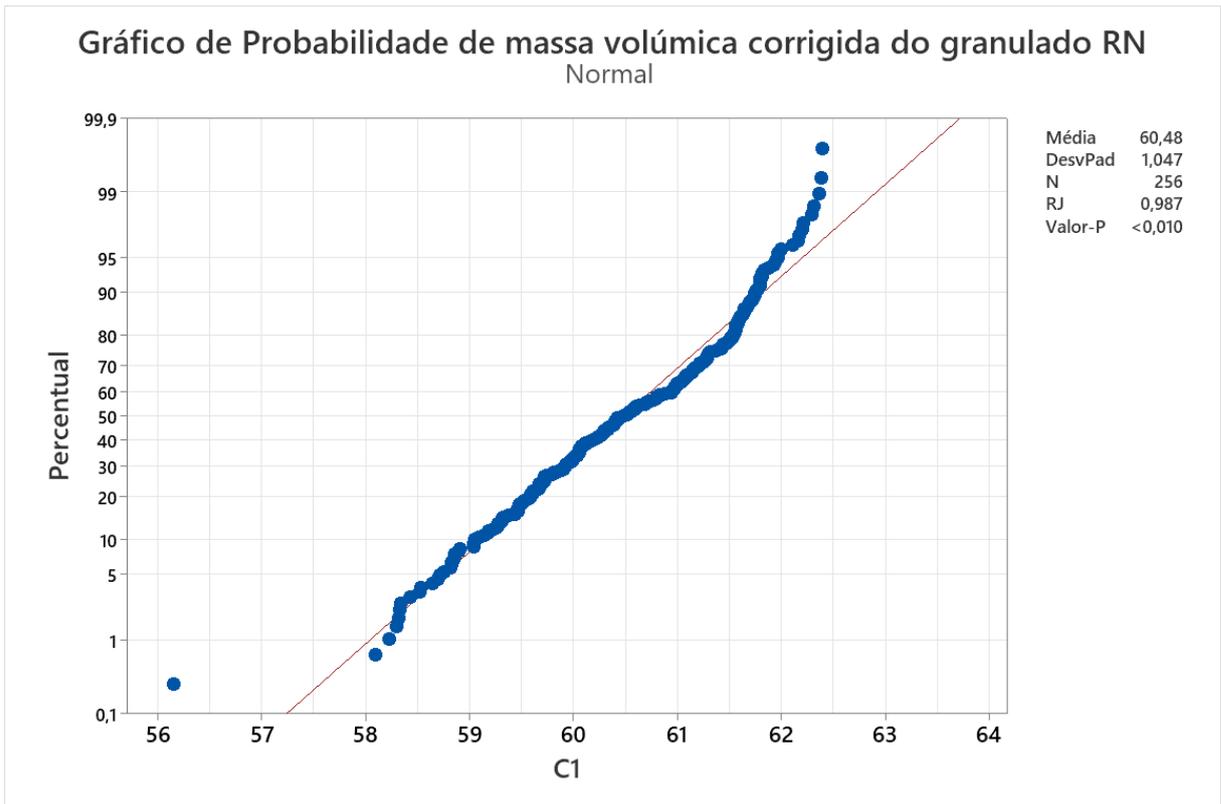


Figura 55: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RN

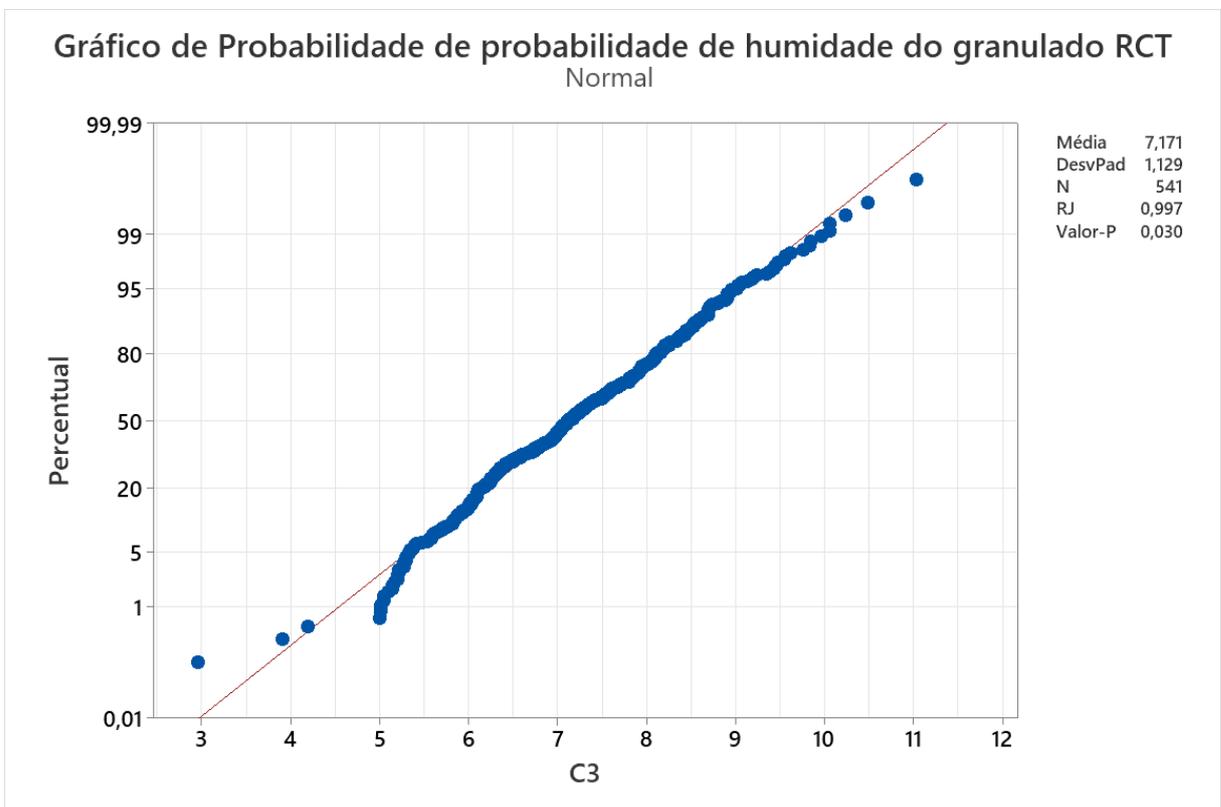


Figura 56: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RCT

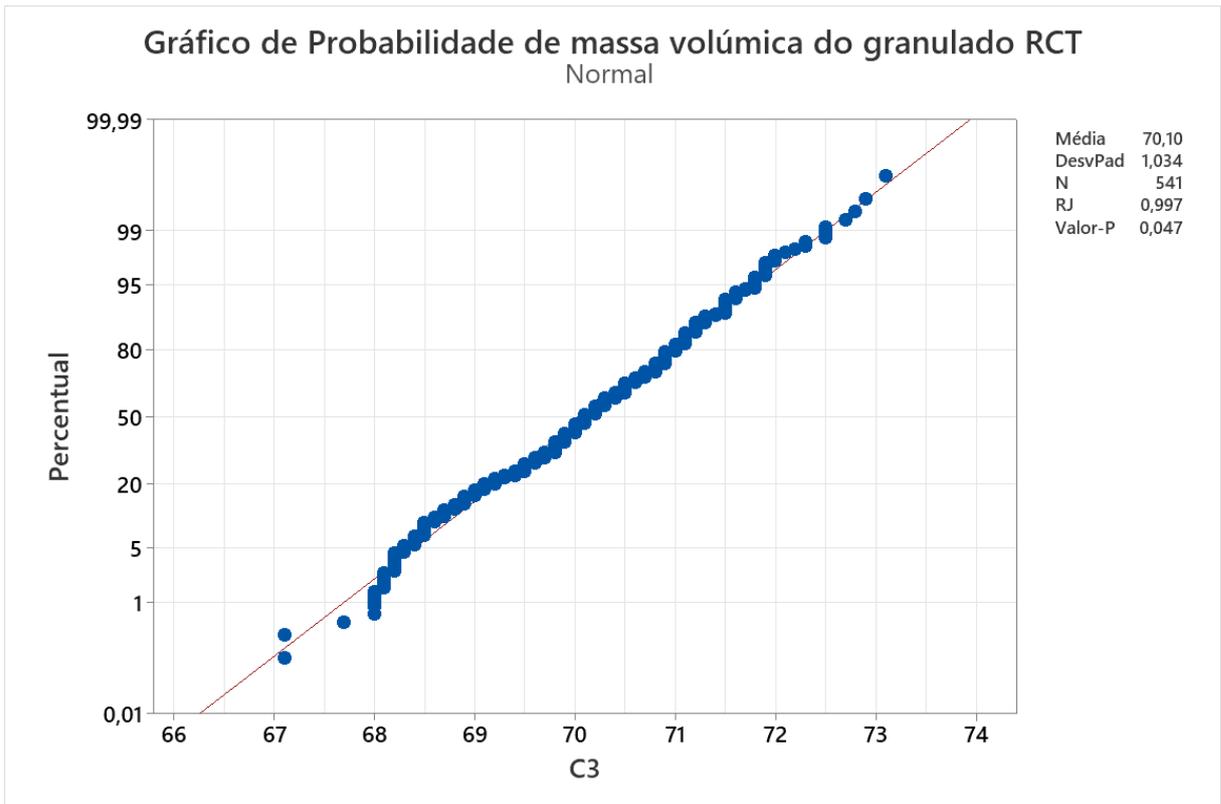


Figura 57: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RCT

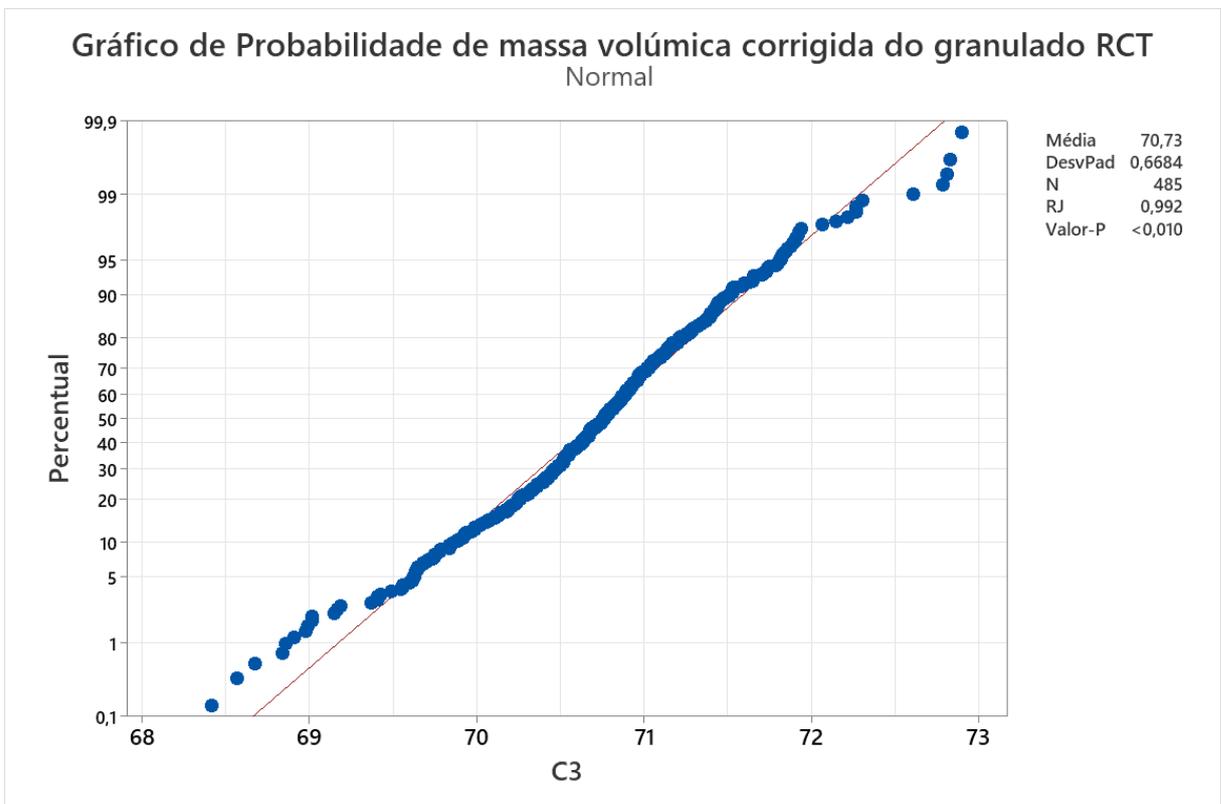


Figura 58: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RCT

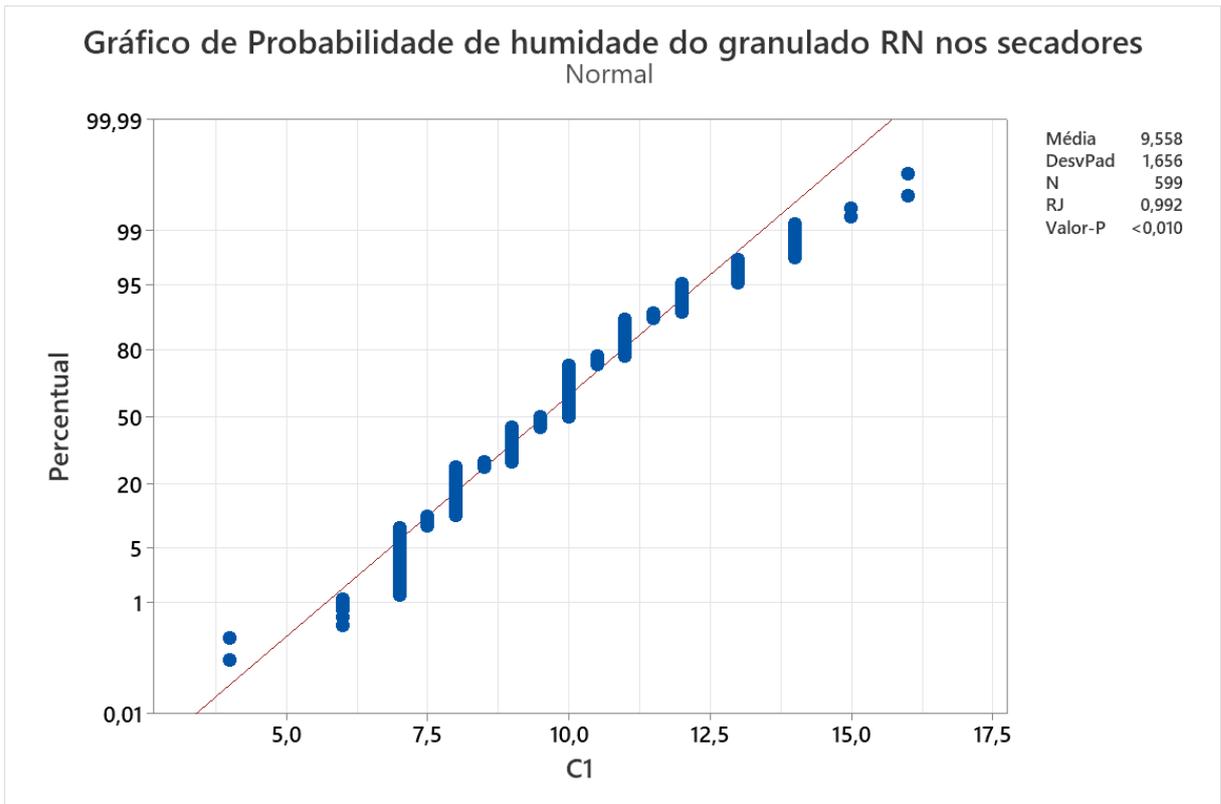


Figura 59: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN nos secadores

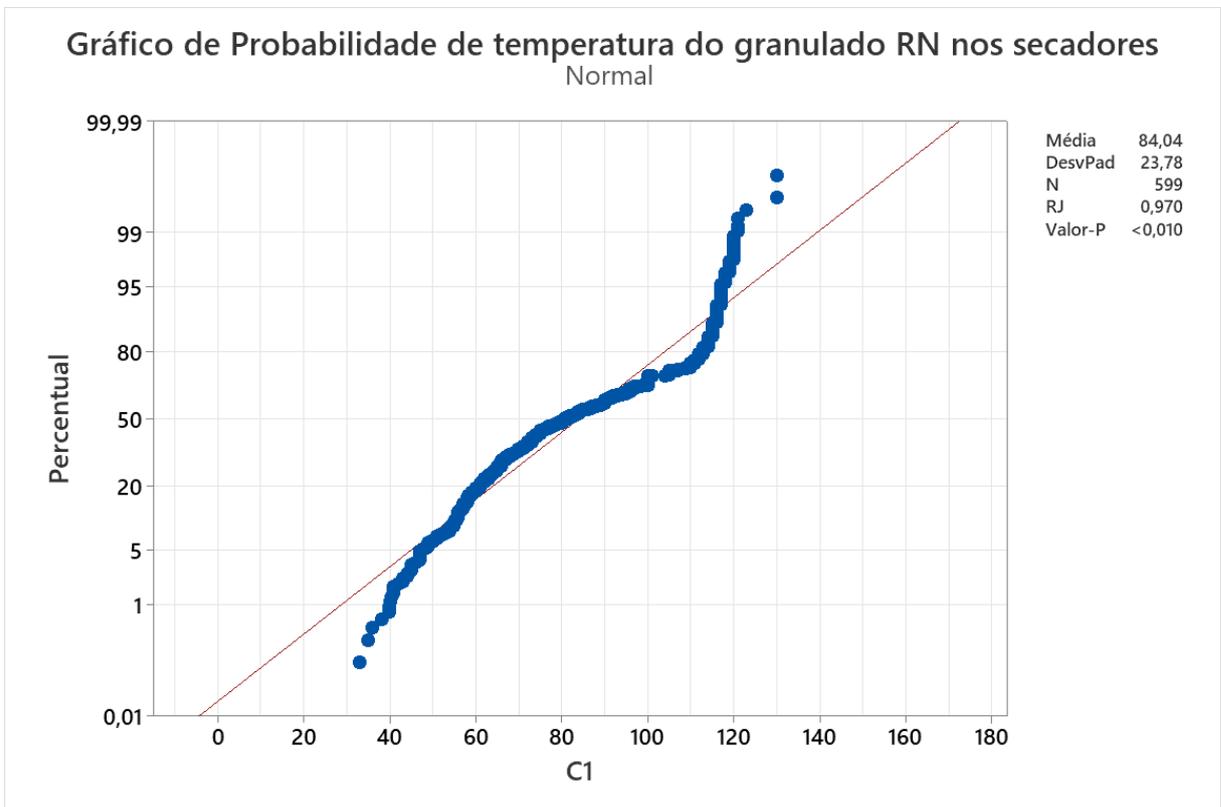


Figura 60: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a temperatura do granulado RN nos secadores

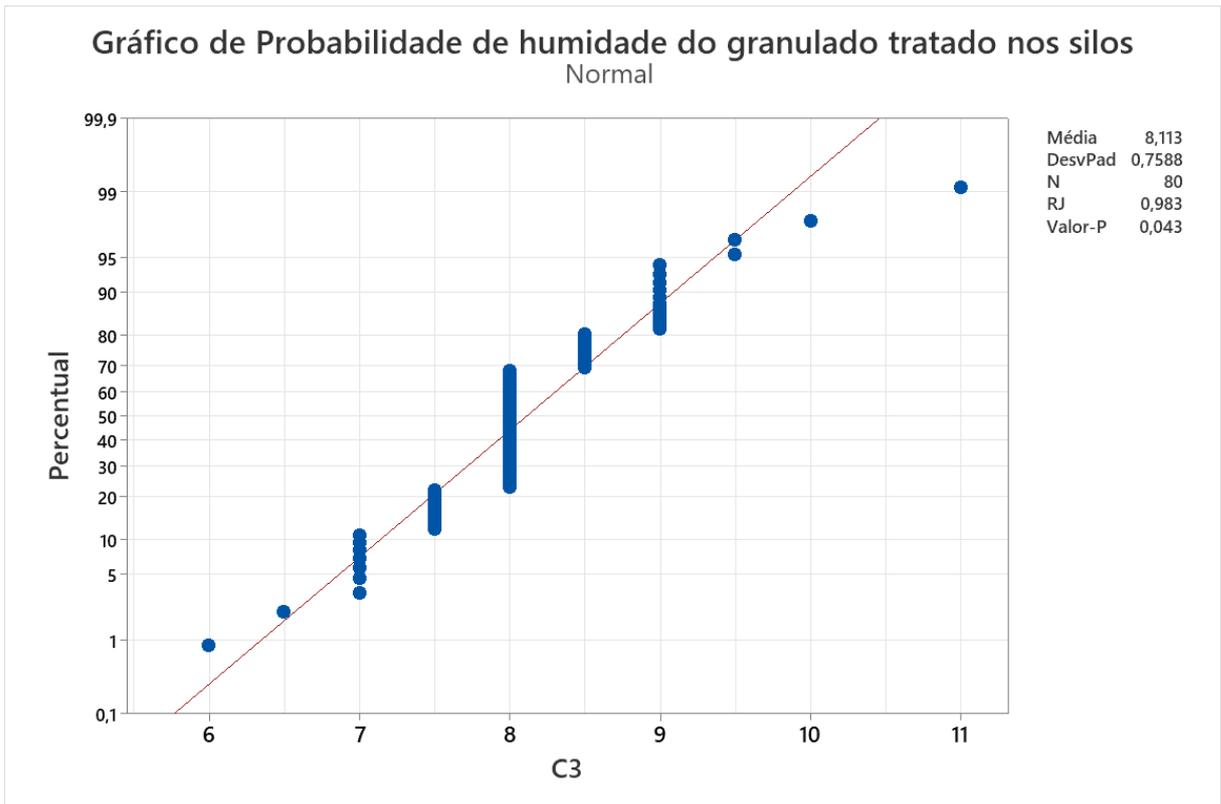


Figura 61: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado tratado nos silos

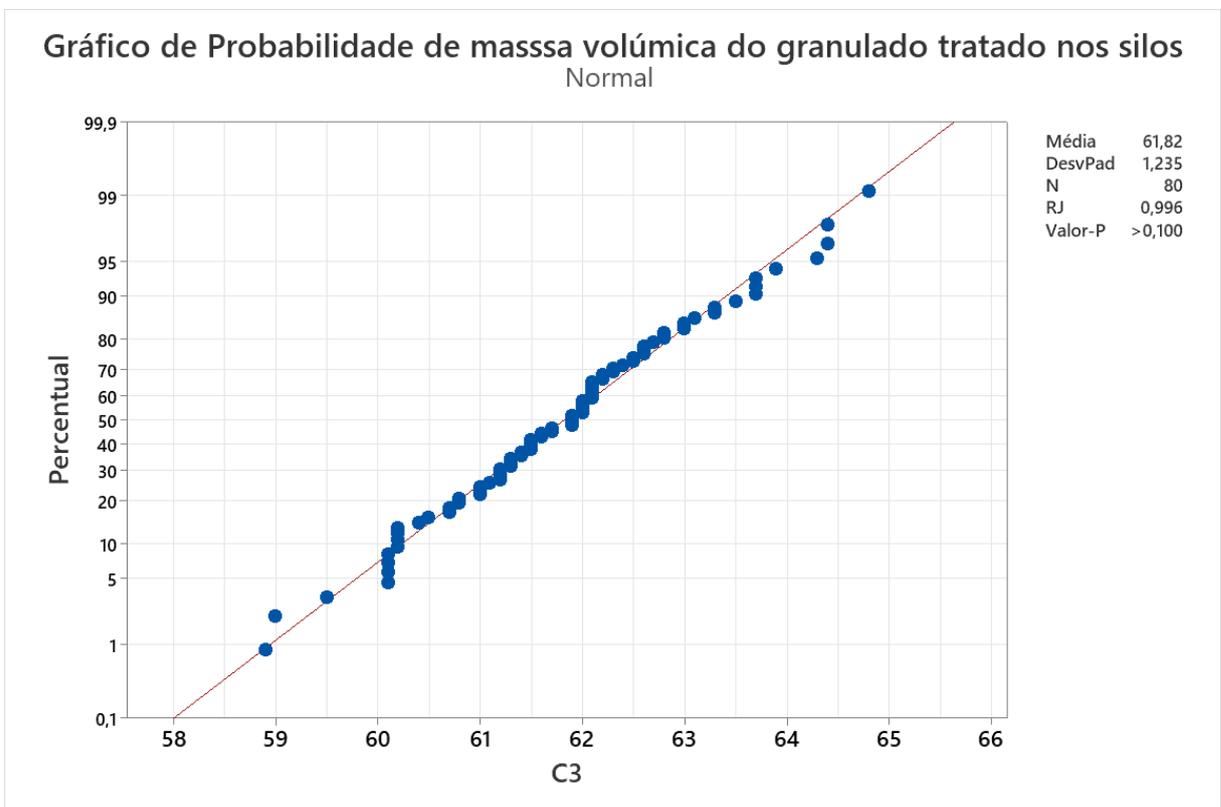


Figura 62: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado tratado nos silos

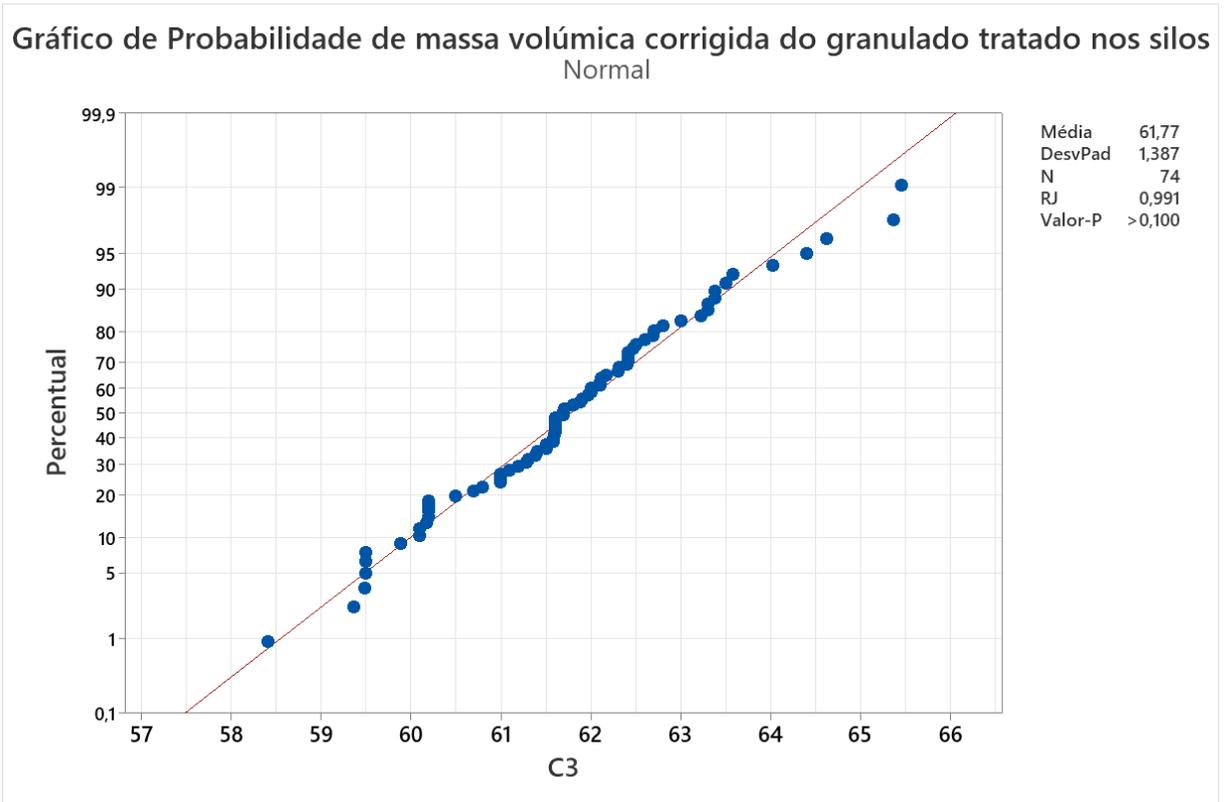


Figura 63: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado tratado nos silos

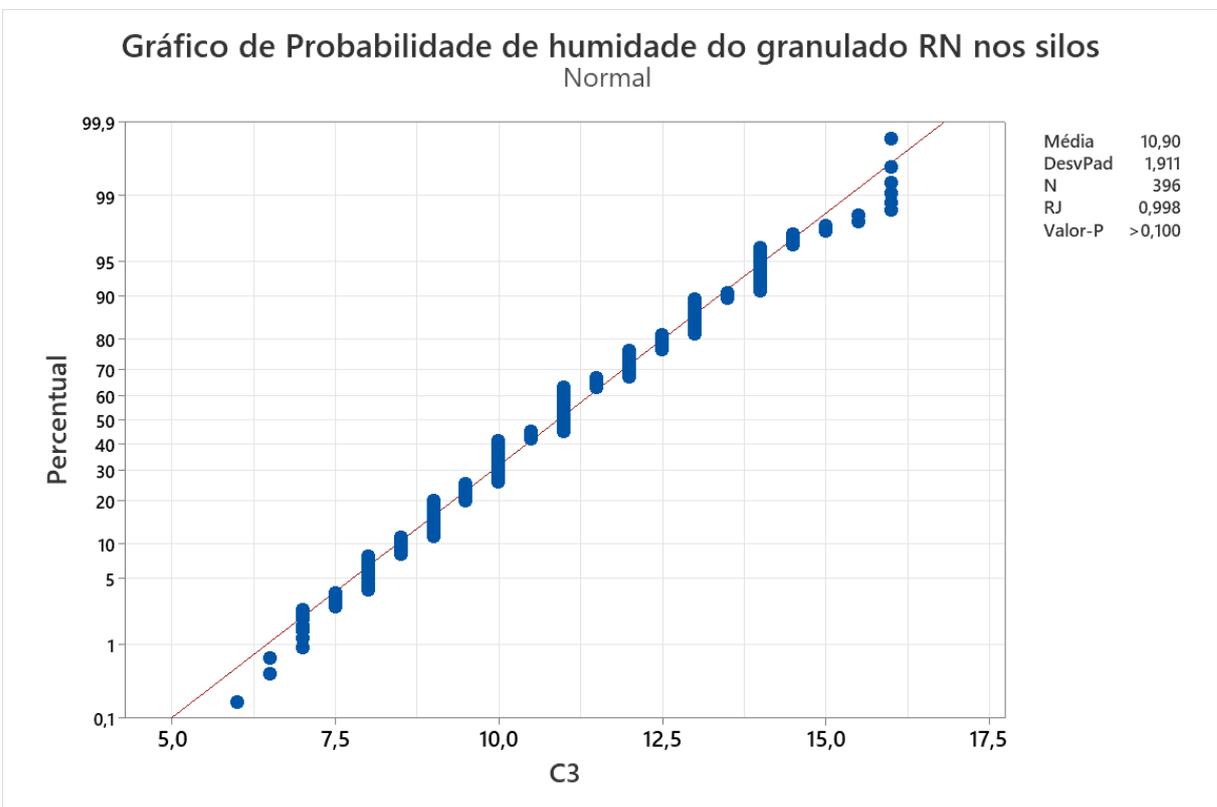


Figura 64: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a humidade do granulado RN nos silos

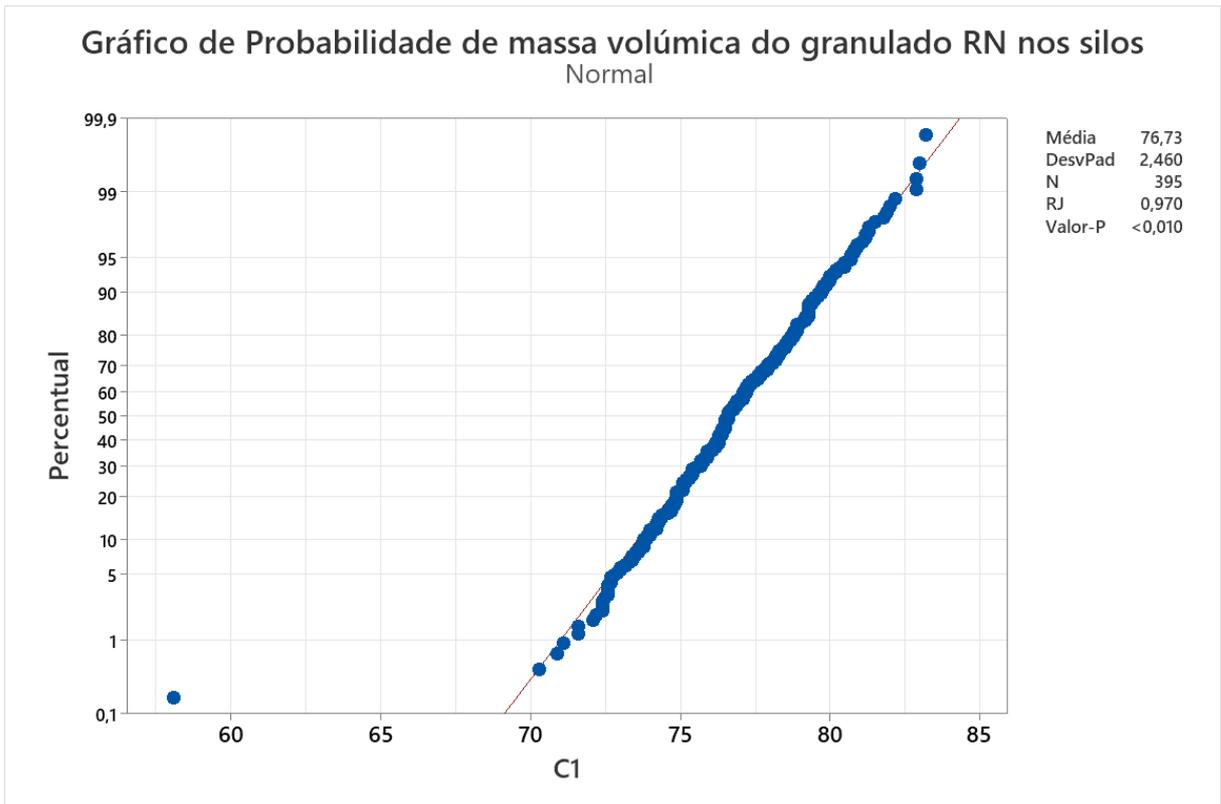


Figura 65: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica do granulado RN nos silos

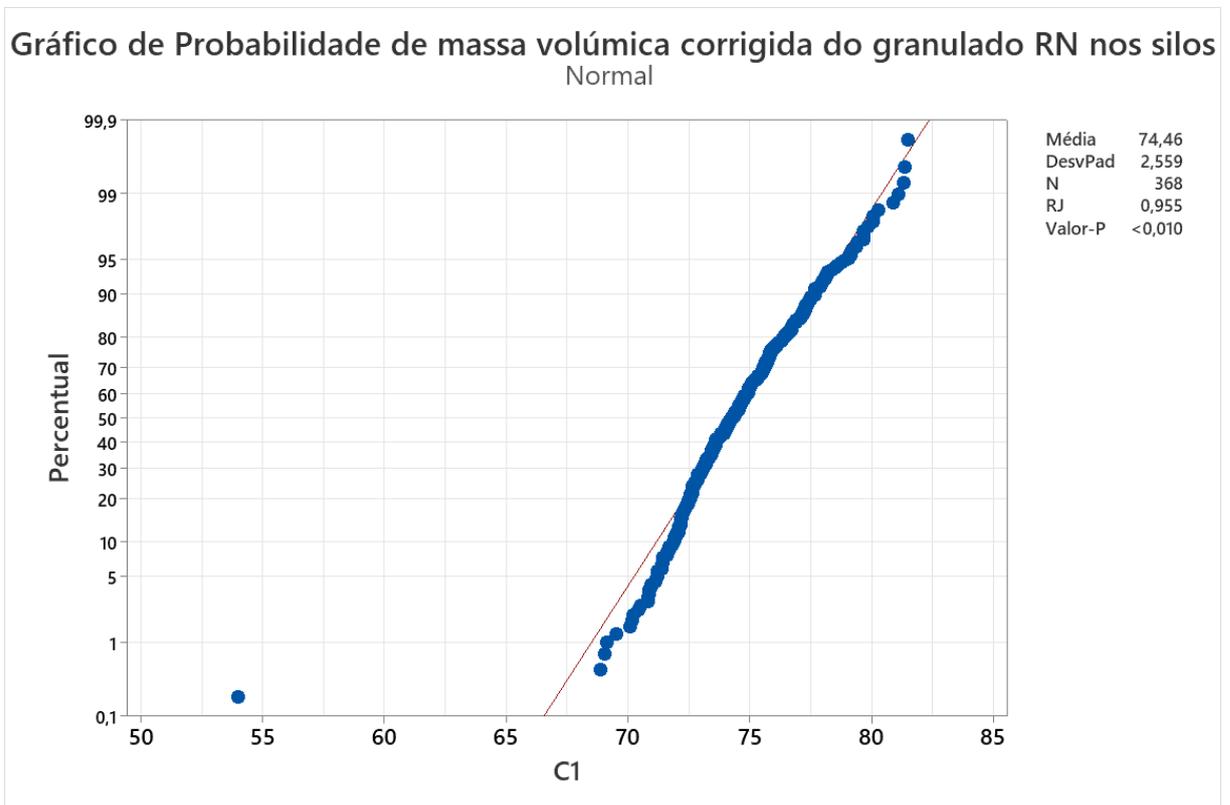


Figura 66: Teste Ryan-Joiner à normalidade, realizado no Minitab, para a massa volúmica corrigida do granulado RN nos silos