

Melhoria do Controlo Estatístico do Processo na Indústria Vidreira

Roberto António Gomes Oliveira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Samuel Moniz



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2017-06-25

Aos meus Pais e Irmã

Resumo

Cada vez mais as organizações experienciam uma crescente procura de produtos com elevada qualidade a baixos custos. Assim é lógico que se uma organização pretende ser competitiva, um dos objetivos é focar-se na produção de produtos de alta qualidade de forma consistente. Surge assim o controlo estatístico do processo como uma técnica de controlo, análise, gestão e melhoria de um processo através da eliminação das chamadas causas especiais de variação, como por exemplo, erros das medições, falta de qualidade das matérias-primas e outros.

É neste contexto que o projeto se insere, abordando formas de melhoria do controlo estatístico do processo já implementado numa indústria de vidro de embalagem. Os principais problemas são existência de lacunas no envolvimento dos chefes de divisão e gestores de turno, variabilidade introduzida pelo sistema de medição e falta de conhecimento da importância do controlo estatístico por parte dos operadores.

Este projeto procurou melhorar alguns dos ingredientes necessários para a implementação, com sucesso, do controlo estatístico do processo. Ao nível da engenharia, a análise do sistema de medição foi essencial para uma correta tomada de decisão. Ao nível das competências do trabalho de equipa, induziu-se uma perceção geral do controlo estatístico e da sua importância e instigou-se a cooperação entre todos os níveis. Ao nível da gestão, focou-se em formações, educação e respetivo acompanhamento das tarefas realizadas no chão-de-fábrica. Tendo os chefes da divisão de fabricação, os gestores de turno e os operadores alinhados com o objetivo de tirar o máximo partido das potencialidades, que o controlo estatístico permite, o sucesso do mesmo torna-se mais facilmente alcançável. Porém, um sistema de medição que introduza uma variação não maior do que o aceitável no processo será preponderante.

Quanto aos resultados finais deste projeto, evidenciam-se algumas melhorias no comportamento de alguns operadores e no envolvimento de alguns dos gestores de turno. Relativamente aos aparelhos de medição, perceberam-se quais os problemas e sugeriram-se melhorias, que estão em fase de estudo. Deste modo, o trabalho realizado no âmbito deste projeto aponta as direções do caminho a percorrer, materializando os resultados com algumas ferramentas, conhecimento e medidas que ajudarão a atingir a meta final.

Improvement of the Statistical Process Control in the Glass Industry

Abstract

More and more organizations are experiencing an increasing demand for high quality products at a low cost. It is therefore logical that if an organization wishes to be competitive, one of its main aims should be focused on producing high quality products in a consistent way. It arises then the statistical process control as a powerful technique to control, analyse, manage, and improve a process through elimination of the variation caused by special causes, such as, improper raw material, errors in measurements and others.

It is in this context that this project comes up, approaching ways of improving statistical process control already implemented in a glass container's industry. The main problems are lack of commitment from department directors and shift managers, variability caused by the measurement system, lack of education and training in statistical process control, and lack of awareness of the potential benefits of statistical process control.

Throughout the project, an attempt was made to improve the necessary ingredients for the statistical process control success. At the engineering level, the measurement system analysis was crucial for a good decision making. At the teamwork level, a company-wide understanding of statistical process control and its benefits were induced and cooperation between all organisation levels was also instigated. At the management level, the work was focused on training, coaching and respective supervision of the tasks executed on the shop-floor. Having all the department directors, shifts managers, and operators aligned with the purpose of making the most out of statistical process control, its success becomes more easily achievable. However, a measurement system that introduces a variation not bigger than the acceptable in the process will be preponderant.

Regarding final results of this project, there are evidenced some improvements in the behaviour of some operators and in the involvement of some shift managers. In relation to the measurement system, problems were presented and studied and improvements were suggested that are now being considered. The work developed in the scope of this project sets the directions to go, by materializing the results in some tools, knowledge and procedures that will support the company to reach its goals.

Agradecimentos

Antes de mais, quero agradecer a todas as pessoas da BA Vidro com quem trabalhei e aprendi nestes últimos meses.

Ao Professor Samuel Moniz, pela sua orientação e sugestões de melhoria ao longo do projeto.

À Professora Henriqueta Carrapatoso pela disponibilidade e sugestões de bibliografia.

Aos Engenheiros Rui Matos e Pedro Belo, orientadores na empresa, que me ajudaram e conduziram diariamente ao longo destes 4 meses. Foi muito útil a sua experiência e conhecimento da indústria do vidro.

Aos Engenheiros Hélder Sanches, Pedro Barros, Ana Ferreira, Marco Marques e Hélder Barbosa pelo apoio que me deram.

Aos Estagiários Samuel Vasconcelos, João Barroco de Melo e Andreia Guedes que me acompanharam ao longo destes 4 meses.

A todos com quem partilhei estes 5 anos de universidade. Momentos que jamais serão esquecidos.

Ao André Moreira, Bruno Gomes, José Barbosa, Pedro Barbosa, Pedro Moreira e Pedro Santos. Obrigado pela vossa paciência, preocupação e mesmo estando longe, estão sempre perto.

Aos meus pais, irmã e avós, que sempre me transmitiram vontade de fazer mais e melhor. Obrigado pelo apoio, motivação e preocupação. Sem vocês este caminho teria sido muito mais difícil.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da BA Vidro, SA	1
1.2	Contextualização do Projeto na BA Vidro, SA	3
1.3	Objetivos do Projeto	3
1.4	Metodologia seguida no Projeto	3
1.5	Estrutura da Dissertação	4
2	Enquadramento Teórico	6
2.1	Qualidade	6
2.2	Ferramentas de Qualidade	7
2.3	Controlo Estatístico do Processo	8
2.3.1	Variabilidade do Processo	9
2.3.2	Amostragem	9
2.3.3	Cartas ou Gráficos de Controlo e sua aplicação	10
2.3.4	Capacidade e Performance do Processo	12
2.3.5	Implementação do CEP	13
2.4	Análise ao Sistema de Medição	14
3	Análise Inicial da Empresa	16
3.1	Processo Produtivo	16
3.2	Tipos de Defeitos	20
3.3	Controlo Estatístico do Processo	20
3.3.1	Aparelhos de Medição Utilizados	22
3.3.2	Principais Problemas Encontrados	23
3.4	Controlo de Qualidade e Reescolha	27
3.5	Melhoria do CEP	27
3.5.1	Escolha da Linha Piloto	27
4	Aplicação da metodologia proposta	28
4.1	Análise ao Sistema de Medição – MSA	28
4.1.1	Metodologia	28
4.1.2	Análise Gráfica dos Resultados	29
4.1.3	Análise Numérica dos Resultados	32
4.1.4	Análise Crítica ao Estudo do Sistema de Medição por variáveis	34
4.2	Proposta de Melhorias dos Equipamentos de Medição	35
4.2.1	Modelos Iniciais	35
4.2.2	Modelos Finais	36
4.2.3	Aparelho de Medição 2 em 1 – Verticalidade + Ovalização	36
4.2.4	Orçamento e breve Análise de Sensibilidade	37
4.2.5	Stock de Comparadores e Estruturas	38
4.3	Análise de Dados Históricos	38
4.4	Plano de Controlo	40
4.5	Formação de Gestores de Turno, Condutores de Máquina e Afinadores	42
4.6	Ferramenta de Visualização	43
4.7	Folha de Registo e Controlo de Turno	44
4.8	Comparação entre Situação Passada e Atual	45
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	48
5.1	Trabalhos Futuros	49
	Referências	50
	ANEXO A: Estrutura do Grupo BA Vidro	52
	ANEXO B: Cronograma do Projeto	53
	ANEXO C: Resultados das Medições Obtidas no Estudo Gage R&R	54

ANEXO D: Resultados Gráficos do Estudo <i>Gage R&R</i> dos Outros Aparelhos de Medição	57
ANEXO E: Gráficos dos Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos por Turno	59
ANEXO F: <i>Mockup</i> da Ferramenta de Visualização	61
ANEXO G: Ferramenta Final de Visualização	62

Siglas

ADF – Análise de Distribuição de Frequência

CEP – Controlo Estatístico do Processo

FAIR – First Article Inspection Report

GQT – Gestão da Qualidade Total

IS – Individual Section

MSA – Measurement System Analysis (Análise ao Sistema de Medição)

NNPB – Narrow Neck Press and Blow

PS – Prensado-Soprado

SS – Soprado-Soprado

TSF – Tratamento de Superfície a Frio

TSQ – Tratamento de Superfície a Quente

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização das Fábricas da BA Vidro, SA.	2
Figura 2 - Cores das Garrafas Produzidas na BA Vidro.....	2
Figura 3 - Metodologia Seguida no Projeto.....	4
Figura 4 - Diagrama Causa-Efeito.....	7
Figura 5 - Gráfico de Pareto.	7
Figura 6 – Histograma.	8
Figura 7 - Gráfico de Dispersão.	8
Figura 8 - Custos de Detecção de Defeitos.	9
Figura 9 - Mapa com os Vários Tipos de Cartas de Controlo.	10
Figura 10 - Gráfico de Controlo das Médias.	11
Figura 11 - Esquema do Processo Produtivo e das Respetivas Zonas e Fases.....	16
Figura 12 - Inversão nas Máquinas IS.	17
Figura 13 - Fases do Processo de Moldação Soprado-Soprado.	18
Figura 14 - Fases do Processo de Moldação Prensado-Soprado.	18
Figura 15 - Fases do Processo de Moldação <i>Narrow Neck Press and Blow</i>	19
Figura 16 - Zonas de uma Garrafa de Vidro.....	20
Figura 17 - Software VSPC.....	21
Figura 18 - Bancada na Zona Quente, Onde Ocorrem as Medições CEP.....	21
Figura 19 - Esquema Representativo dos Fornos e das Linhas da Fábrica de Avintes.	22
Figura 20 - Constituintes de um Aparelho de Medição.....	22
Figura 21 - Aparelhos de medição de Espessura Ombro, Espessura Fundo e Ovalização.....	23
Figura 22 - Aparelhos de medição de Verticalidade, Horizontalidade e Verticalidade do Gargalo.	23
Figura 23 - Respostas dos vários turnos à pergunta "Acha incómodo realizar as medições CEP?".	24
Figura 24 - Metodologia seguida na Avaliação do Sistema de Medição.	28
Figura 25 - Resultados Gráficos do MSA para o Aparelho de Medição de Verticalidade.....	29
Figura 26 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Verticalidade.....	32
Figura 27 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Horizontalidade.	33
Figura 28 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Espessura de Ombro.	33
Figura 29 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Espessura de Fundo.	34
Figura 30 - Modelos Iniciais dos Equipamentos de Medição.	35
Figura 31 - Modelos Finais dos Equipamentos de Medição.	36
Figura 32 - Gráfico de Pareto para a Referência 4088 com Defeitos CEP.	37
Figura 33 - Número de Medições por Turno durante um Período de Tempo.	39

Figura 34 - <i>Boxplots</i> Referentes ao Intervalo de Tempo entre Medições de Subgrupos por Turno.	39
Figura 35 - Gráfico das Amplitudes.	40
Figura 36 - Gráfico das Médias.	40
Figura 37 - Representação de uma Máquina IS.	41
Figura 38 - Parte 1 da Ferramenta de Visualização.	44
Figura 39 - Parte 2 da Ferramenta de Visualização.	44
Figura 40 - Folha de Registo e Controlo de Turno.	45
Figura 41 - Segurança relativa à Modificação de Informação já Registada.	45
Figura 42 - Mensagem de Alarme.	45
Figura 43 - Impacto da Mensagem no Tempo entre Medições.	46
Figura 44 - Impacto da Mensagem no Tempo entre Medições por Turno.	46
Figura 45 – Impacto da Mensagem no Número de Medições Realizadas por Turno.	47
Figura 46 - Estrutura Atual do Grupo BA Vidro.	52
Figura 47 - Cronograma do Projeto.	53
Figura 48 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Verticalidade.	54
Figura 49 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Horizontalidade.	55
Figura 50 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Espessura de Ombro.	55
Figura 51 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Espessura de Fundo.	56
Figura 52 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R para o Aparelho de Horizontalidade.	57
Figura 53 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R para o Aparelho de Espessura de Ombro.	57
Figura 54 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R do Aparelho de Medição de Espessura de Fundo.	58
Figura 55 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno A.	59
Figura 56 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno B.	59
Figura 57 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno C.	59
Figura 58 - Gráficos de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno D.	60
Figura 59 - <i>Mockup</i> da Ferramenta de Visualização.	61
Figura 60 - Ferramenta Final de Visualização.	62

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela com o Número de Bases/Suportes em Linha e <i>Stock</i>	26
Tabela 2 - Comparação entre o Tempo Gasto em Medições com o Aparelho 2 em 1 vs Aparelhos separados.	37
Tabela 3 - Poupança de Tempo com o Aparelho 2 em 1.....	38
Tabela 4 - Custo de um Aparelho Novo 2 em 1.	38
Tabela 5 - Preço a Pagar por cada Hora Poupada Tendo em Conta o Período de Amortização.	38
Tabela 6 - Assiduidade nas Formações por Turno.	43
Tabela 7 - Avaliação por parte dos Formandos por Turno.....	43

1 Introdução

Num mercado competitivo, a sobrevivência de uma organização industrial depende da satisfação das metas de produção, com qualidade e a custos competitivos.

Para atingir estas metas, as empresas têm vindo a aplicar ferramentas de qualidade que permitem a melhoria e o controlo do processo produtivo. Uma das possíveis estratégias a implementar é o Controlo Estatístico do Processo (CEP) – objeto de estudo deste projeto.

Este projeto pretende melhorar o funcionamento do CEP já existente na fábrica de Avintes do grupo BA Vidro, como forma de garantir, mais eficazmente, a estabilidade dos processos internos e a qualidade dos produtos fabricados. A melhoria do CEP, executada no âmbito deste projeto, foi realizada numa linha piloto e o seu foco incidiu em: i) reduzir a variabilidade causada pelo sistema de medição utilizado no controlo estatístico do processo; ii) manter a estabilidade do processo minimizando a sua variabilidade; iii) permitir uma reação mais rápida por parte dos operadores; e iv) envolver mais os gestores de turno e chefes de divisão e aumentar os índices de qualidade.

Pretendeu-se assim passar a ter um CEP robusto, fiável e rigoroso, que possibilitasse uma monitorização da qualidade e que para além disso, permitisse a deteção preventiva de problemas e incentivasse uma atuação imediata.

1.1 Apresentação da BA Vidro, SA

A BA Vidro é uma empresa com mais de cem anos de existência que desenvolve, produz e comercializa embalagens de vidro para a indústria alimentar, de bebidas, farmacêutica e cosmética.

Fundada em 1912 sob a designação de “Barbosa e Almeida”, esta dedicava-se apenas à distribuição das garrafas de vidro e só em 1930 iniciou a sua atividade industrial com uma unidade fabril em Campanhã. Mais tarde, esta fábrica sofreu melhorias com a implementação de tecnologia automática de alimentação e moldação para o fabrico de embalagens. Em 1969, a BA Vidro iniciou produção na sua nova unidade fabril em Avintes com dois fornos regenerativos que se apresentavam como tecnologia de vanguarda face aos métodos tradicionais de fusão do vidro. Logo a seguir, no ano de 1971, a primeira máquina *Individual Section* (IS) foi instalada, o que conduziu a um aumento substancial da capacidade instalada.

A partir desta fase, a BA Vidro sofreu mudanças quer ao nível do capital social quer ao nível da capacidade produtiva com ampliação e aquisição de unidades fabris. A sede do grupo localiza-se em Avintes, Vila Nova de Gaia, onde a fábrica opera desde 1969. No campo das construções deve ser referida a construção da Fábrica de Villafranca de los Barros (Espanha). No campo das aquisições devem ser referenciadas as seguintes: Companhia Industrial Vidreira (CIVE) situada na Marinha Grande, Vilesa (Vidreira Leonesa, SA), com uma unidade fabril em Léon, Espanha, o Grupo Sotanco, que marcou o alargamento do portfólio de produtos para a cosmética e a farmacêutica e o grupo Polaco Warta Glass, ação esta que permitiu uma expansão geográfica para a Europa do Leste, reforçando o posicionamento do grupo no segmento das bebidas espirituosas.

Nestes últimos dois anos, a BA Vidro avançou com mais aquisições, nomeadamente HNG Global, uma empresa alemã de embalagens de vidro com sede em Gardelegen e mais quatro fábricas nos Balcãs (uma na Grécia em Atenas, uma na Roménia em Bucareste e duas na Bulgária em Sófia e Plovdiv). Na Figura 1 exibe-se a localização das Fábricas que o grupo detém.



Figura 1 - Localização das Fábricas da BA Vidro, SA.

Fonte: BA Vidro.

Com um total de doze fábricas e três mil e oitocentos colaboradores, a BA Vidro produz anualmente mais de 6 mil milhões de garrafas em nove cores de vidro: âmbar, âmbar escuro, branco azulado, branco flint, preto, verde-escuro, verde-esmeralda, verde UV e *georgia green* que pode ser visível na Figura 2.



Figura 2 - Cores das Garrafas Produzidas na BA Vidro.

Fonte: BA Vidro.

O grupo para além de sofrer alterações ao nível da sua capacidade produtiva com as diversas aquisições acima mencionadas sofreu também alterações ao nível da estrutura interna e capital social. O modelo da estrutura interna atual pode ser visualizado no Anexo A.

1.2 Contextualização do Projeto na BA Vidro, SA

A qualidade tem vindo a assumir-se como um pilar fundamental de qualquer organização, representando uma vantagem competitiva e permitindo que uma empresa se torne mais eficiente em mercados cada vez mais competitivos.

O controlo do processo desempenha assim um papel deveras importante numa organização industrial como meio de garantir a consistência dos seus processos e a qualidade dos produtos fabricados e entregues aos clientes.

Este projeto foi desenvolvido na BA Vidro, SA – designada doravante por BA. É uma indústria inserida num mercado exigente em que o compromisso com a qualidade, controlo do processo e os custos de produção são o dia-a-dia e em que produzir com qualidade ao mais baixo custo é a principal finalidade.

O processo de fabrico de embalagens de vidro é um processo complexo devido à dependência de uma grande quantidade de variáveis. Estas variáveis podem dar origem a possíveis problemas e influenciar o desempenho do processo. É neste âmbito que surge um projeto de melhoria do controlo do processo que fosse mais rigoroso e robusto e que permitisse perceber em tempo real o estado da produção e detetasse eventuais problemas para que estes fossem rapidamente corrigidos. Deste modo, evita-se a produção de produtos não conformes – desperdício. Este controlo foi executado através do controlo estatístico do processo já existente, mas com algumas modificações e melhorias com vista a não ser utilizado apenas como uma ferramenta de medição, mas sim como uma ferramenta de qualidade, prevenção e atuação.

Contudo, é importante notar que a viabilidade do CEP, apesar dos benefícios associados, depende muito do envolvimento dos colaboradores, pelo que a sua formação e sensibilização influenciou de forma determinante os resultados obtidos. Caso os colaboradores não entendam o impacto que o controlo do processo pudesse ter na empresa e caso se mostrassem resistentes na sua utilização, a probabilidade do insucesso ao nível do CEP era elevada.

1.3 Objetivos do Projeto

Com o objetivo de facilitar a avaliação do trabalho e possibilitar uma abordagem focada, definiram-se os seguintes objetivos no início do projeto:

- perceber quais os problemas existentes no CEP já implementado;
- estudar os sistemas de medição e caso não sejam adequados, apresentar soluções;
- melhorar o CEP já existente, tornando-o mais robusto e fiável;
- orientar os operadores nas atividades relacionadas com o CEP;
- desenho de planos de formação;
- envolvimento das chefias;
- aumento dos índices de qualidade.

1.4 Metodologia seguida no Projeto

Numa fase inicial do projeto foi seguido um programa de formação e integração na Empresa, que permitiu facultar uma perspetiva geral sobre todas as fases do processo produtivo, desde a composição até à embalagem. Foi sem dúvida um elemento facilitador na adaptação ao ambiente industrial.

Posteriormente, foi definida uma metodologia para este projeto de forma a alcançar os objetivos do mesmo. Esta metodologia pode ser visualizada na Figura 3.

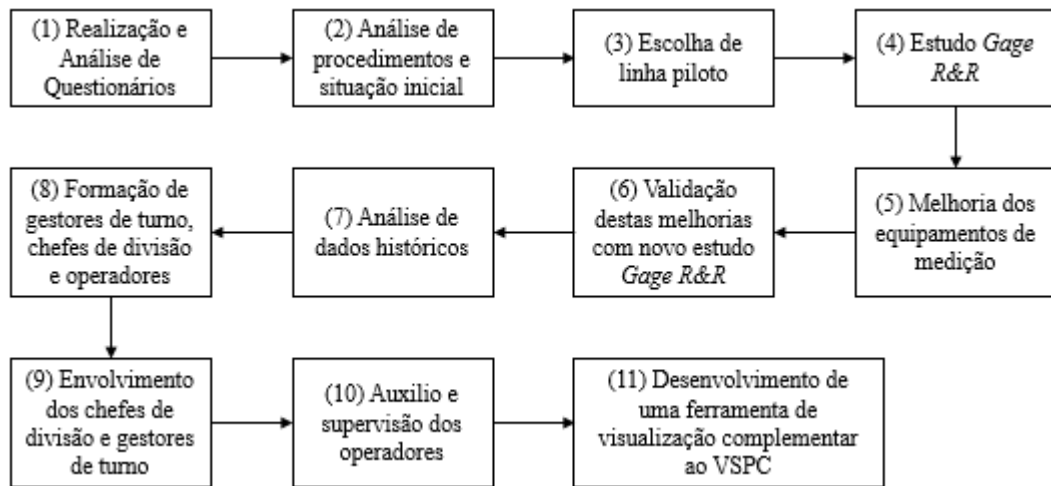


Figura 3 - Metodologia Seguida no Projeto.

Iniciou-se o projeto com a caracterização dos problemas existentes através da realização de questionários a todos os operadores da zona quente. Procedeu-se então à análise dos respetivos questionários para perceber quais os problemas e também para recolher sugestões dos colaboradores que contactavam diariamente com o controlo estatístico do processo. Paralelamente, foi realizada uma análise dos procedimentos já existentes e da situação geral da fábrica. Após esta fase inicial, selecionou-se uma linha piloto para focar o trabalho e procedeu-se a um estudo do sistema de medição presente nesta linha piloto. Com os resultados deste estudo foi possível verificar se o sistema de medição era ou não adequado e se não fosse adequado quais as melhorias necessárias.

Finalizada a fase do sistema de medição, procedeu-se a uma análise dos dados históricos para entender como é que os turnos estavam a realizar o controlo estatístico do processo. Mediante esta análise e depois de ver quais as principais falhas dos responsáveis pelo CEP foi realizada uma formação a todos os colaboradores da zona quente inclusive aos seus gestores de turno e chefes de divisão. Visto que o sucesso do CEP depende muito do envolvimento dos chefes de divisão da zona quente e dos gestores de turno, tentou-se envolvê-los no controlo estatístico do processo. Logo após a formação, foi dado também auxílio nas tarefas de controlo estatístico realizadas pelos condutores de máquina e afinadores.

Por último, desenvolveu-se uma ferramenta de visualização de dados importantes ao nível do controlo estatístico do processo que funciona de forma complementar ao *software* já utilizado – VSPC. Entendeu-se que apenas com este era difícil para um gestor de turno e mesmo para um chefe de divisão observar de maneira rápida e simples como é que era a situação geral do seu turno relativamente ao controlo do processo. Com esta ferramenta, esta análise tornou-se mais rápida e simples.

Com o objetivo de planear e controlar o projeto de uma forma eficiente e eficaz, foi desenvolvido um Cronograma do Projeto (Anexo B). Este documento retrata as atividades a realizar ao longo do projeto e a sua duração. De notar que este documento foi sendo alterado sempre que se considerou relevante, ora modificando datas, ora mudando atividades e tarefas.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos distintos. No primeiro capítulo apresentou-se sucintamente o projeto e o seu contexto, expondo-se primeiramente a empresa onde foi desenvolvido e a sua conjuntura. Depois, foram definidos os objetivos do projeto e metodologia utilizada para abordar o mesmo.

No segundo capítulo foi apresentado um enquadramento teórico dos conceitos utilizados ao longo do projeto para fundamentar o estudo e a abordagem realizada.

No terceiro capítulo foi analisado com algum detalhe o processo produtivo associado às embalagens de vidro, sendo depois tratados os tipos de defeitos existentes na empresa. De seguida, foi explicada a situação inicial com os principais problemas encontrados e por fim contextualizou-se o projeto ao nível do controlo e garantia de qualidade das garrafas produzidas.

No quarto capítulo foram apresentadas soluções e ações para os vários problemas encontrados no controlo do processo e sistemas de medição e por fim, uma análise do impacto que as novas soluções e ações tiveram nos resultados ao nível do cumprimento das atividades.

No quinto e último capítulo efetuou-se uma análise do trabalho realizado com principais conclusões, onde foram também apresentados possíveis trabalhos futuros de melhoria.

2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo são abordadas as diversas áreas que este projeto abrange. Os temas em análise são a qualidade, ferramentas de qualidade, controlo estatístico do processo e análise do sistema de medição. Em cada um deles é feita uma breve revisão da literatura existente.

2.1 Qualidade

O conceito de qualidade tem sido debatido ao longo do tempo, existindo um conjunto alargado de definições. Uma definição tradicional de qualidade pertence a Crosby (1979) que a definiu como “conformidade com as especificações”. Já Deming não define qualidade numa frase e afirma que qualidade apenas pode ser definida pelo consumidor ou cliente (Deming 1986). Juran and Gryna (1988) definem qualidade como “aptidão para o uso”, sendo que esta definição se baseia no facto dos produtos e serviços terem de respeitar os requisitos de quem os utiliza, quer em termos de *design* quer em termos de conformidade.

Para Montgomery (2009), “A qualidade é inversamente proporcional à variabilidade”. A variabilidade causa falta de qualidade no fabrico de qualquer produto. Segundo Chapman (1994), existem quatro princípios subjacentes à variabilidade:

- Não há dois objetos exatamente iguais;
- A variação pode normalmente ser medida;
- Os conjuntos de dados formam padrões com características definidas;
- Existem dois tipos de variabilidade: aleatória e atribuível.

De forma a ajudar as empresas a perceber quais os custos de produzir objetos não conformes, Crosby dividiu o custo de qualidade em duas componentes: preço da conformidade e o preço da não conformidade. O preço da conformidade refere-se ao custo de produzir um artigo bem à primeira e o preço da não conformidade fornece informação acerca dos custos da não qualidade. É possível obter mais qualidade com menos custos: o custo de produção é mais reduzido visto que é mais barato fabricar um artigo conforme à primeira, o tempo de resposta é mais curto ao estabelecer processos de trabalho mais eficientes e os níveis de inventário podem ser reduzidos quando uma linha de produção tem resultados previsíveis. Todas estas razões contribuem para uma menor variabilidade, maior satisfação dos clientes e maior qualidade do produto ou serviço (Suarez 1992).

Apesar das diferenças entre Crosby, Juran e Deming, as similaridades são evidentes. Todos eles revelam a importância do envolvimento das chefias na melhoria da qualidade e o quão as técnicas estatísticas podem ajudar uma organização (Suarez 1992).

Foi com base nas filosofias de Deming e Juran que surgiu a GQT (Gestão da Qualidade Total) no início dos anos oitenta. A GQT é uma estratégia de implementação e gestão das atividades de melhoria contínua, tendo evoluído ao longo dos anos e abrangendo assim um maior número de atividades. Montgomery (2009) refere as razões pelas quais esta estratégia tem

apenas sucesso moderado. São elas a falta de envolvimento das chefias, uso inadequado das ferramentas estatísticas e falta de foco na redução da variabilidade.

Uma organização onde as tarefas e as responsabilidades de cada um estão bem definidas, os procedimentos de trabalho estão bem documentados e acessíveis a todos os colaboradores, os fornecedores são selecionados com base na qualidade e são sujeitos a avaliações periódicas, os colaboradores têm formação adequada às suas tarefas e os instrumentos de medição são calibrados periodicamente, assegura a qualidade dos seus produtos. Os clientes possuem maior confiança na organização e esta última é reconhecida pela sua qualidade. Esta é a ideia da norma ISO 9001 que apresenta os requisitos de um sistema de gestão de qualidade com vista ao reconhecimento a nível mundial. Permite num mundo cada vez mais competitivo a entrada em novos e exigentes mercados (Priede 2012).

2.2 Ferramentas de Qualidade

Se uma organização pretende melhorar continuamente a qualidade dos seus produtos, necessita de seleccionar ferramentas e técnicas de qualidade apropriadas. Apesar de existirem muitas ferramentas disponíveis já estudadas e caracterizadas pelos cientistas, existem as chamadas sete ferramentas básicas de qualidade. Elas são fáceis de perceber e utilizar para analisar problemas de qualidade (Soković et al. 2009).

Estas sete ferramentas de qualidade foram identificadas por Ishikawa (1985) e McConnel (1989). São elas as seguintes: fluxograma, diagrama de causa-efeito, gráfico de Pareto, histograma, folha de verificação, gráfico de controlo e gráfico de dispersão (Tarí and Sabater Sempere 2004).

Diagrama de causa-efeito

É um diagrama que permite e ajuda a investigar diversas causas de um determinado problema – um defeito. Por vezes, as causas são variadas e nada claras, pelo que um diagrama deste tipo possibilita uma compreensão daquilo que conduz ao problema. É chamado diagrama espinha de peixe visto que faz lembrar o esqueleto de um peixe ou então diagrama Ishikawa, nome do seu criador (Figura 4). Neste tipo de diagrama, as causas estão divididas nas seguintes categorias: máquinas, material, método, medição e pessoal (Cox, Blackstone, and Schleier 2003).



Figura 4 - Diagrama Causa-Efeito.

Fluxograma

É um diagrama que esquematiza todas as fases de um processo. É utilizado para analisar e gerir um processo de uma forma rápida e visual. É vantajoso na medida em que é possível visualizar as diferenças entre o que o processo realmente é e o que deveria ser, o que permite uma melhoria do mesmo (Montgomery 2009).

Gráfico de Pareto

Vilfredo Pareto foi um economista que reparou que um conjunto restrito de pessoas controlava a maior parte da riqueza existente. A chamada Lei de Pareto foi empregada também a outras áreas, nomeadamente a da qualidade. Assim, e na questão dos defeitos de um produto, pode-se dizer que um pequeno conjunto de causas é responsável pela maioria dos problemas. Este diagrama permite uma visualização rápida e eficaz de quais os defeitos que ocorrem com

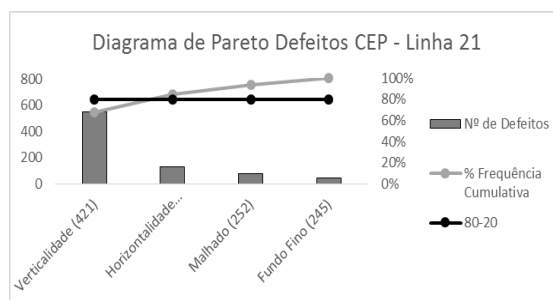


Figura 5 - Gráfico de Pareto.

maior frequência, ou seja, possibilita uma separação entre defeitos triviais e defeitos vitais (Witzel 2005). Pode ser visto um exemplo na Figura 5.

Histograma

Histograma é um gráfico de barras, utilizado para representar distribuições de frequência. As barras apresentam os dados agrupados e permitem analisar de forma rápida e simples a tendência central e a dispersão dos dados. Um exemplo de um histograma é apresentado na Figura 6. Além disso, a forma do histograma tem interesse para verificar por exemplo, se existe uma distribuição normal ou não (Guimarães and Cabral 2010).

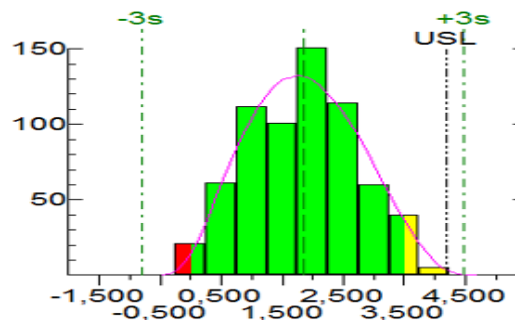


Figura 6 – Histograma.

Fonte: BA Vidro.

Folha de verificação

A folha de verificação é muito utilizada como meio de melhorar um processo, na medida em que permite a recolha de dados históricos e operacionais relativos ao processo. É essencial não só recolher os dados para análise mas também, a hora, o analista e identificar o processo (Montgomery 2009).

Gráfico de controlo

Gráfico de controlo é utilizado para determinar se um processo fabrica um produto de forma consistente, isto é, preocupa-se em perceber como é a variação do processo ao longo do tempo. Gráficos deste tipo possuem uma linha central (média), um limite superior de controlo e uma linha para limite inferior de controlo. Estas linhas são calculadas a partir dos dados históricos. Deste modo, é fácil verificar se existem pontos fora dos limites de controlo, o que significa que o processo não está controlado (Montgomery 2009). Esta ferramenta será explorada no subcapítulo seguinte dado ser um pilar desta dissertação.

Gráfico de dispersão

Gráfico de dispersão é um gráfico que possibilita examinar se dois parâmetros estão ou não relacionados. Permite observar uma possível relação entre mudanças de duas variáveis. Esta relação tem o nome de correlação. Se os dados estiverem igualmente distribuídos no gráfico, a correlação é baixa. Caso contrário, a correlação é alta o que indica que as variáveis se relacionam, como pode ser visto na Figura 7 (Guimarães and Cabral 2010).

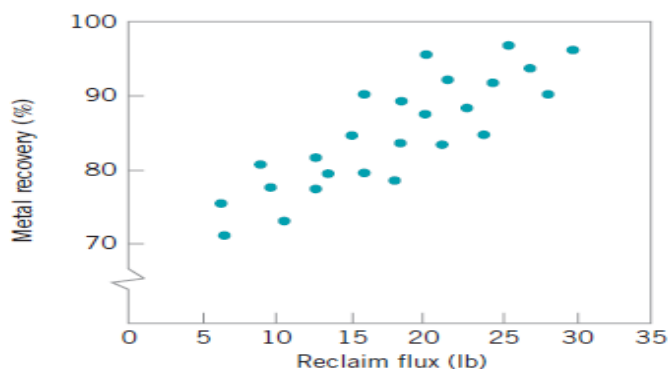


Figura 7 - Gráfico de Dispersão.

Fonte: (Montgomery 2009).

2.3 Controlo Estatístico do Processo

Em 1750, Josiah Wedgwood foi uma das primeiras pessoas a introduzir o conceito de processo de produção industrial. Já em 1920, Walter Shewart foi o primeiro a considerar o controlo estatístico de qualidade como função do processo de produção industrial, tendo criado os chamados gráficos de controlo como ferramenta para monitorizar a variação de um processo. Em 1950, Deming ajudou na popularização da aplicação de técnicas estatísticas a

todos os níveis dos processos e passados 28 anos, estas linhas de orientação de Deming foram amplamente utilizadas nos Estados Unidos da América (Chapman 1994).

Ao longo dos anos, o fabrico de objetos complexos tornou-se cada vez mais comum, muito devido ao avanço da tecnologia. Para que o fabrico deste tipo de objetos tenha sucesso, um conjunto de critérios como o tamanho e composição têm de ser assegurados, de modo a que o objeto possa desempenhar a sua função e satisfaça o cliente. Com isto, os limites de aceitação foram criados e deixou de ser necessário esperar até ao final do fabrico para ver se um produto é ou não adequado, permitindo uma prevenção e redução de desperdício (Bramwell 2013). Pode ser visualizado na Figura 8 um gráfico que apresenta a variação do custo de deteção de um defeito ao longo do tempo.



Figura 8 - Custos de Deteção de Defeitos.

O controlo estatístico do processo é uma forma de controlar e monitorizar um processo com vista a assegurar que ele atua como previsto e que produz um produto conforme. Com o CEP, é possível verificar se um processo se comporta como esperado, produzindo o máximo de produtos conformes com o mínimo desperdício (Madanhire and Mbohwa 2016). O principal objetivo do controlo estatístico do processo é por isso a deteção rápida de situações fora do controlo, através dos gráficos de controlo.

2.3.1 Variabilidade do Processo

A variabilidade de um processo ocorre porque dois objetos nunca são exatamente iguais. As tolerâncias são o resultado dos engenheiros reconhecerem este facto (Chapman 1994).

As causas da variabilidade de um processo resultam de dois tipos: causas comuns e causas assinaláveis (Gejdoš 2015). As causas comuns ou naturais são as que originam uma variação aleatória ou natural, sendo causas inerentes ao processo, tais como variações ligeiras no material e vibração das máquinas.

As causas especiais ou assinaláveis não estão associadas ao processo e têm uma razão específica, devendo-se a erros corrigíveis. Exemplos de causas especiais são danificação de equipamento, falta de calibração de uma máquina, entre outros.

Embora o processo pareça ser estável, as variações existem mesmo assim. A variação aleatória é aceite como inevitável mas deve ser reduzida ao mínimo e a variação atribuível já não é inevitável e deve ser eliminada do processo para se obter um processo controlado (Chapman 1994).

2.3.2 Amostragem

A única boa amostra é uma amostra representativa e a única forma de analisar a variabilidade de um processo é através da recolha, tratamento e análise dos dados. Esta recolha de dados é

realizada através de uma amostragem com um tamanho e uma frequência definidas (Montgomery 2009).

Relativamente ao tamanho da amostra, quanto maior for o tamanho da mesma, mais fácil é detetar pequenas alterações no processo. Quanto à frequência da amostragem, a situação mais vantajosa é recolher amostras de grandes dimensões mais frequentemente. Contudo, os recursos são normalmente escassos, sendo esta uma solução cara (Montgomery 2009).

O objetivo de uma boa amostragem é realizá-la de modo a que uma mudança no processo ocorra entre amostras, afetando-as assim totalmente e não quando a amostra está a ser recolhida. Neste último caso, apenas parte da amostra seria afetada pela mudança. Isto é conhecido por amostragem racional. Assim, um subgrupo racional não é mais do que um subgrupo de itens produzidos em condições idênticas, como por exemplo, cinco itens consecutivos, produzidos na mesma máquina, com o mesmo *setup*, o mesmo lote de matéria-prima e o mesmo operador (Reynolds and Stoumbos 2006).

2.3.3 Cartas ou Gráficos de Controlo e sua aplicação

As cartas de controlo ou cartas Shewart são ferramentas para perceber a variação. O seu propósito é estabilizar e reduzir a variabilidade existente num determinado processo. A ideia da carta de controlo foi introduzida por Shewart a 16 de Maio de 1924 na *Western Electric Company* nos Estados Unidos da América (Ryan 2011).

Com as cartas de controlo é possível avaliar a forma como um processo se comporta ao longo do tempo e qual a sua tendência. Estas podem apresentar características do processo por variáveis, como: média, amplitude, desvio padrão e valores individuais, mas também características do processo por atributos, como: cartas P - proporção de unidades não conformes, cartas NP – número de itens não conformes, cartas C – número total de defeitos e cartas U – número de defeitos por unidade de artigo produzido. Como observado na Figura 9, existem gráficos de controlo por variáveis e gráficos de controlo por atributos (Montgomery 2009).

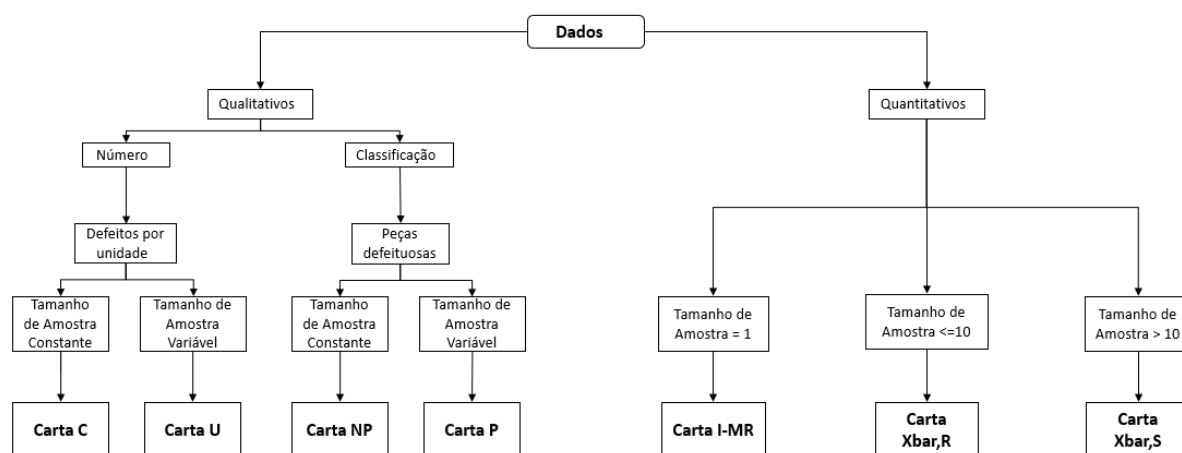


Figura 9 - Mapa com os Vários Tipos de Cartas de Controlo.

Fonte: (Chapman 1994).

Gráficos de Controlo por Variáveis

Um gráfico de controlo por variáveis é um método de avaliação de um processo ou característica de um produto que seja mensurável. Isto envolve a leitura de uma escala para se obter a velocidade, temperatura, peso, dimensões, entre outras. Pressupõe-se que os valores medidos são obtidos de uma população com distribuição normal (Montgomery 2009).

O controlo estatístico do processo é realizado com base em dois gráficos: um gráfico das médias das amostras (gráfico Xbar) para controlar a tendência central do processo, e um gráfico de amplitudes das amostras ou dos desvios padrão das mesmas (gráfico R ou gráfico S respetivamente). Os principais componentes de um gráfico de controlo de médias são uma linha central e dois limites de controlo (Figura 10). A linha central representa o valor médio do processo e os limites superior e inferior são utilizados para determinar se houve uma alteração na média do processo. Deste modo, quando um ponto ultrapassa um destes limites, há sinais de que variações especiais entre amostras ocorreram e por sua vez, o processo está descontrolado.

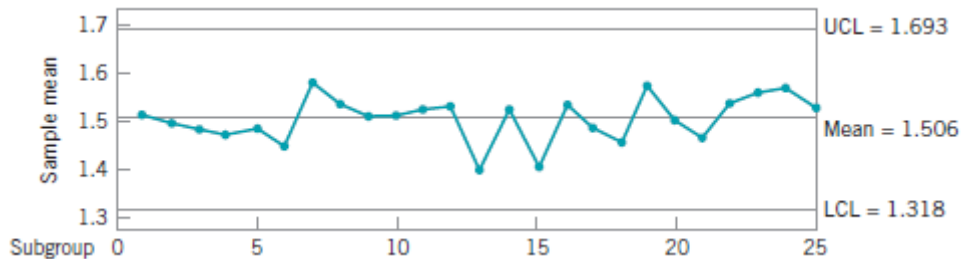


Figura 10 - Gráfico de Controlo das Médias.

Fonte:(Montgomery 2009).

O mesmo para um gráfico de controlo de amplitudes ou desvios padrão. O gráfico de amplitudes permite monitorizar mudanças no processo dentro das amostras e a linha central representa a amplitude média das amostras e é uma estimativa da variação dentro de cada amostra. Os limites de controlo representam a variação esperada para a amplitude das amostras se o processo for consistente ao longo do tempo. Caso algum ponto esteja acima ou abaixo dos limites, o processo não está controlado. O gráfico de controlo dos desvios é similar ao das amplitudes, mas utilizado quando o tamanho da amostra é maior do que dez (Montgomery 2009). A principal diferença é a medida de dispersão utilizada que é diferente uma vez que o cálculo de uma amplitude é diferente do cálculo de um desvio padrão.

É de notar que antes de analisar o gráfico de controlo das médias é importante analisar o gráfico de amplitudes ou desvios padrão. A razão pela qual isto acontece é que os limites de controlo utilizados no gráfico de médias são calculados a partir da estimativa da variação dentro das amostras. Assim, para os limites de controlo serem válidos é importante que a variação dentro das amostras seja estável e é precisamente isso que os gráficos R e S permitem analisar (Ryan 2011).

Segundo Montgomery (2009), existem duas fases na implementação de cartas de controlo por variáveis. Numa primeira fase são recolhidos e analisados todos os dados de uma vez só. Os limites de controlo são assim calculados e analisa-se se o processo esteve ou não em controlo durante a recolha. Se houver deteção de causas especiais, ações corretivas deverão ser tomadas, os pontos fora do controlo eliminados e os limites de controlo recalculados. Após esta primeira fase, ocorre uma nova recolha com nova revisão dos limites de controlo. Esta fase é repetida até o processo estar completamente estabilizado e assim inicia a segunda fase. Nesta segunda fase, o foco está na monitorização do processo.

Gráficos de controlo de atributos

Cartas de controlo de atributos representam gráficos cujo resultado da inspeção é expressa numa contagem, seja número de defeitos nas unidades da amostra, seja número de unidades defeituosas na amostra. Existem quatro tipos de gráficos de atributos: P, NP, C e U (Montgomery 2009).

Quando o interesse reside em monitorizar processos onde a característica de qualidade é o número ou proporção de unidades defeituosas numa amostra, utilizam-se os gráficos NP e P.

Estas cartas baseiam-se numa distribuição binomial, que pressupõe que o objeto da contagem se possa classificar num, e apenas num, de dois estados: defeituoso/não defeituoso. Uma carta P faz tudo o que uma carta NP faz, contudo a diferença é que uma carta NP requer uma amostra de dimensão constante e uma carta P, não. A linha central de um gráfico NP é o número médio de produtos defeituosos. A linha central de um gráfico P representa o número total de produtos defeituosos a dividir pelo número total de produtos nas amostras. Relativamente aos limites de controlo, estes são baseados na linha central e no tamanho das amostras. Os limites de controlo variam assim de amostra para amostra. Quando o tamanho de uma amostra é grande, existem mais certezas nas estimativas pelo que os limites de controlo estão mais próximos da linha central. Já quando o tamanho da amostra é pequeno, existem menos certezas nas estimativas pelo que os limites de controlo estão mais afastados do centro (Das 2009).

Quando o interesse é a contagem do número de defeitos numa unidade, utilizam-se os gráficos C e U. Uma carta U faz tudo o que uma carta C faz, mas as cartas C requerem uma área de amostra constante enquanto as cartas U não. Estes tipos de gráficos baseiam-se numa distribuição de Poisson e esta é uma distribuição de número inteiros. Numa carta C, a linha central é o número médio de defeitos por amostra. Os seus limites de controlo consistem na variação esperada se o processo for consistente ao longo do tempo. Numa carta U, a linha central corresponde ao número total de defeitos dividido pelo número total de objetos medidos (Chapman 1994).

Para sumarizar, os objetivos de todas estas cartas estudadas são controlar um processo, ajudando assim a determinar quando é ou quando não é preciso ajustar o mesmo. Para além disso, estudar a capacidade e localizar avarias, visto que indicam o momento em que ocorrem variações atribuíveis. Os tipos de cartas são selecionados consoante o tipo de dados e sempre que possível deve-se utilizar amostragem racional. É de notar que limites de especificação são diferentes de limites de controlo (Montgomery 2009).

2.3.4 Capacidade e Performance do Processo

O estudo da capacidade de um processo tem como objetivos avaliar se os artigos irão cumprir as especificações do cliente e determinar a probabilidade do produto ser fabricado de forma consistente dentro da especificação. Os índices Cp e Cpk medem precisamente a capacidade para os produtos cumprirem com as especificações do cliente (Montgomery 2009).

O índice Cp relaciona a variação inerente ao processo com as suas especificações. Contudo, é um índice que desconsidera a centralização do processo, não sendo sensível aos desvios dos dados. Por isso, mede a capacidade sem ter em conta o valor alvo ou a especificação (Palmer and Tsui 1999). O Cp segue uma distribuição normal e calcula-se da seguinte forma:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} \quad 2.1$$

Onde:

LSE. Limite Superior de Especificação,

LIE. Limite Inferior de Especificação,

6 sigma. Variação do processo, onde *sigma* é obtido com base numa estimativa quando não é conhecido o seu valor.

O índice Cpk possui exatamente o mesmo propósito do índice anterior, mas considera a centralização do processo e ajusta o índice Cp para uma distribuição não centrada entre os limites de especificação (Palmer and Tsui 1999). O Cpk corresponde ao menor valor de dois fatores e é calculado da seguinte forma:

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad 2.2$$

Onde:

LSE. Limite Superior de Especificação,

LIE. Limite Inferior de Especificação,

3 sigma. Variação do processo, onde *sigma* é obtido com base numa estimativa quando não é conhecido o seu valor.

Neste caso, já não é só tida em conta a variabilidade do processo mas também a sua localização relativamente aos limites de especificação (Montgomery 2009).

Relativamente à performance de um processo, os índices Pp e Ppk são utilizados e a forma como são calculados é muito similar ao cálculo do Cp e Cpk respetivamente. A única diferença reside na forma como o sigma é calculado. No Cp e Cpk, este sigma é estimado utilizando a amplitude pelo que no Pp e Ppk, o sigma é calculado utilizando o desvio padrão. O valor mínimo recomendado para o Cp e Cpk é de 1.33 e para o Pp e Ppk de 1.67, embora um valor acima de 1 já seja considerado aceitável. Quando maior for o índice, maior é a probabilidade do processo estar dentro das especificações (Steiner, Abraham, and MacKay 1997).

2.3.5 Implementação do CEP

De acordo com Antony (2000), apesar das cartas de controlo serem essenciais no controlo estatístico do processo, não localizam as causas de instabilidade do processo. Apenas indicam se o processo está ou não controlado. Para o sucesso numa implementação CEP, Xie and Goh (1999) identificam três aspetos cruciais: aspeto de gestão, aspeto humano e aspeto operacional. Já para Bird and Dale (1994), os três principais fatores são possuir um sistema de medição fiável, foco na formação dos operadores e envolvimento da gestão de topo.

Estes problemas podem ser evitados com recurso a uma metodologia abrangente e que privilegie questões relacionadas com a organização e o planeamento dos recursos. Segundo Does, Schippers, and Trip (1997) uma metodologia de sucesso deve ser constituída pelos seguintes passos:

- Descrição do processo. Nesta fase, o processo atual deve ser descrito e especificado passo por passo. Aqui a utilização de fluxogramas poderá ser uma boa ideia para facilitar a análise e interpretação do processo;
- Análise Causa-Efeito. Para todas as etapas do processo descritas no ponto anterior, descrever todas as causas e possíveis efeitos dos vários defeitos. Aqui a utilização de gráfico de Pareto e diagrama de Ishikawa poderá ser bastante útil;
- Análise de risco. Para cada relação causa-efeito, determina-se o seu risco através de FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*). Este risco é calculado com base na frequência de ocorrência da causa, severidade do efeito da causa e facilidade na deteção da causa;
- Implementação de melhorias. Nesta fase, a equipa deverá gerar melhorias para reduzir o risco nas relações causa-efeito com maior gravidade descritas na análise de risco;
- Definição das características a medir. Aqui devem-se selecionar os parâmetros do processo importantes de controlar assim como definir o plano de controlo;
- Avaliação do sistema de medição. Realiza-se um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade para verificar se o sistema de medição é adequado ou não;

- Gráficos de controle. Nesta etapa, os gráficos de controle são criados e analisados para posterior tomada de decisões;
- Plano de ação. Quando um ou mais pontos estão fora do controle, o processo está descontrolado. Nesta fase, o pretendido é ter um plano de ações para resolver cada um desses problemas;
- Estudo da capacidade do processo. Quando os gráficos de controle estão estabilizados, os índices de capacidade podem ser calculados;
- Certificação. Consiste na avaliação dos resultados obtidos e trabalha-se no sentido de melhorar o CEP.

2.4 Análise ao Sistema de Medição

Um sistema de medição é o conjunto de aparelhos de medição, padrões, operações, métodos e *software* utilizados para quantificar uma unidade de medida ou para verificar e corrigir uma característica medida (LLC, Company, and Corporation 2010). Estes estão sujeitos a variação. Como resultado disso e visto que a análise de um determinado processo não é viável a menos que o sistema de medição seja exato, preciso, repetível, reproduzível e com a resolução adequada, uma análise ao sistema de medição é importante.

A análise ao sistema de medição tem como principais objetivos:

- Determinar qual a percentagem de variabilidade total observada devida ao equipamento de medição;
- Isolar as várias componentes de variabilidade do sistema de medição;
- Avaliar se o aparelho de medição é ou não adequado para aquilo que se quer medir.

As medições têm um papel determinante em qualquer sistema de qualidade. Um sistema de medição ineficaz conduz a tomadas de decisão baseadas em dados pouco válidos e isso influencia a performance da organização (Montgomery 2009).

Resolução

A resolução de um instrumento refere-se às mais pequenas gradações que o operador pode detetar e registar com confiança. Neste caso, é importante que o sistema de medição consiga medir 1/10 da tolerância total do artigo. Por exemplo, se um artigo tem uma especificação de $200 \pm 0,005$ mm, o total da tolerância é 0,01 mm. A resolução para este equipamento deverá ser de 0,001 mm (Chapman 1994).

Exatidão

A exatidão é a diferença entre a medição e o valor real da peça. Esta engloba três componentes: o *bias*, linearidade e a estabilidade. Se os instrumentos não estiverem devidamente calibrados em termos de exatidão, poderá haver uma variação em relação ao valor de referência – o chamado *bias* (LLC, Company, and Corporation 2010). A calibração é geralmente realizada ao verificar-se o instrumento de medida com um padrão ou outro instrumento de medição de exatidão conhecida. Uma tabela para cada instrumento deverá incluir o seguinte: data de compra, procedimentos de limpeza e manutenção, frequência de limpeza e manutenção, procedimentos de calibração, data da última calibração e data da próxima calibração (Chapman 1994). A linearidade examina as diferenças entre valores de *bias* observados ao longo da amplitude esperada das medições. A estabilidade corresponde à variação do sistema de medição ao longo do tempo. Pode ser causada pelo desgaste do instrumento e condições do meio-ambiente, tais como mudanças de temperatura ou até humidade. Estes fatores influenciam a estabilidade do sistema de medição (LLC, Company, and Corporation 2010).

Precisão

A precisão corresponde à variação quando a mesma peça é medida repetidas vezes pelo mesmo aparelho. Engloba a repetibilidade e a reprodutibilidade. A repetibilidade, geralmente é resultado de condições inerentes ao próprio instrumento, tais como folgas nos mancais ou até fricção interna. Esta variação também pode resultar de maus métodos de medição. Com isto, um único operador pode obter resultados diferentes medindo o mesmo artigo (Urdhwareshe 2006). A reprodutibilidade é a variação resultante quando dois ou mais operadores usam o mesmo equipamento de medição e medem precisamente o mesmo artigo (Urdhwareshe 2006).

Estudo Gauge R & R

Num estudo deste tipo, o objetivo é quantificar a variação do sistema de medição como percentagem da variação do processo. Estimam-se também as componentes de repetibilidade e reprodutibilidade do sistema de medição. De acordo com Urdhwareshe (2006), para realizar este estudo devem-se selecionar dez artigos, três operadores e medir cada artigo três vezes. Segundo Montgomery (2009), o número de artigos pode estar entre cinco a dez, o número de operadores entre dois e três e cada artigo deve ser medido duas a três vezes.

Pan (2006) enumera três métodos geralmente utilizados na indústria e avalia esses métodos. Os três métodos são o método da ANOVA, método clássico da média e da amplitude e o método da amplitude. Em termos de exatidão, por ordem decrescente da mesma, tem-se: ANOVA > Método Clássico da média e amplitude > Método de amplitude.

O método da ANOVA e o método clássico da média e amplitude são dois métodos similares em termos de análise de dados. O método da amplitude já é um pouco diferente (LLC, Company, and Corporation 2010). O método clássico da média e da amplitude fornece uma estimativa da repetibilidade e da reprodutibilidade de um sistema de medição contrastando com o método da amplitude que não permite a decomposição da variação nestas duas componentes de variação. Porém, não fornece informações relativas à interação operador e produto, isto é, não há informação se os operadores reagem inconsistentemente a diferentes tipos de artigos. Quando um operador consegue medir pequenos artigos de uma forma precisa mas existe outro que sobrestima nesses mesmos artigos, estes operadores interagem com os artigos que medem. O método da ANOVA é capaz de prover informações acerca desta interação (Pan 2006).

Os resultados do estudo podem fornecer informações relativas às causas dos erros do sistema de medição. Existem três critérios de avaliação. Para o primeiro critério, se a falta de reprodutibilidade for considerável face à repetibilidade, as causas poderão ser as seguintes: o operador precisa de ser melhor treinado para o uso e a leitura do instrumento de medição, poderá ter havido um erro de utilização do instrumento e dois operadores podem ter um “toque” diferente. Ainda no primeiro critério, caso a falta de repetibilidade seja maior do que a reprodutibilidade, as causas poderão ser as seguintes: o instrumento necessita de manutenção, o aparelho de medição precisa de ser redesenhado e o suporte carece de maior estabilidade (LLC, Company, and Corporation 2010).

O segundo critério consiste na percentagem de erro do sistema de medição. Se o erro é inferior a 10%, o sistema de medição é adequado. Se a percentagem de erro está entre 10% e 30%, o sistema de medição é considerado aceitável dependendo do custo de um instrumento de medição e custo de reparação. Caso a percentagem de erro seja superior a 30%, o sistema de medição não é adequado e tem de ser melhorado (LLC, Company, and Corporation 2010).

O terceiro critério e último critério é o número de categorias distintas. Esta estatística indica o número de categorias em que o sistema de medição pode ser dividido. Deve ter um valor igual ou superior a cinco (LLC, Company, and Corporation 2010).

3 Análise Inicial da Empresa

Neste capítulo analisam-se os principais elementos nos quais o projeto se insere. Inicia-se a análise apresentando o processo produtivo das embalagens de vidro e posteriormente, é feita uma análise do tipo de defeitos classificados na empresa.

Posto isto, é retratada a situação atual do controlo estatístico do processo, descrevem-se os principais problemas encontrados ao nível do CEP e apresentam-se o controlo de qualidade e o processo de reescolha.

Por fim, menciona-se como é que se vai melhorar o CEP, seleção da linha piloto e quais os objetivos iniciais.

3.1 Processo Produtivo

O fabrico de uma embalagem de vidro engloba seis fases distintas ao longo de duas zonas: Zona Quente e Zona Fria. O processo produtivo é idêntico para qualquer recipiente de vidro desde frascos a garrafas e inicia com a chegada das matérias-primas e termina na paletização. Na Figura 11 são ilustradas as diversas fases do processo de fabrico.

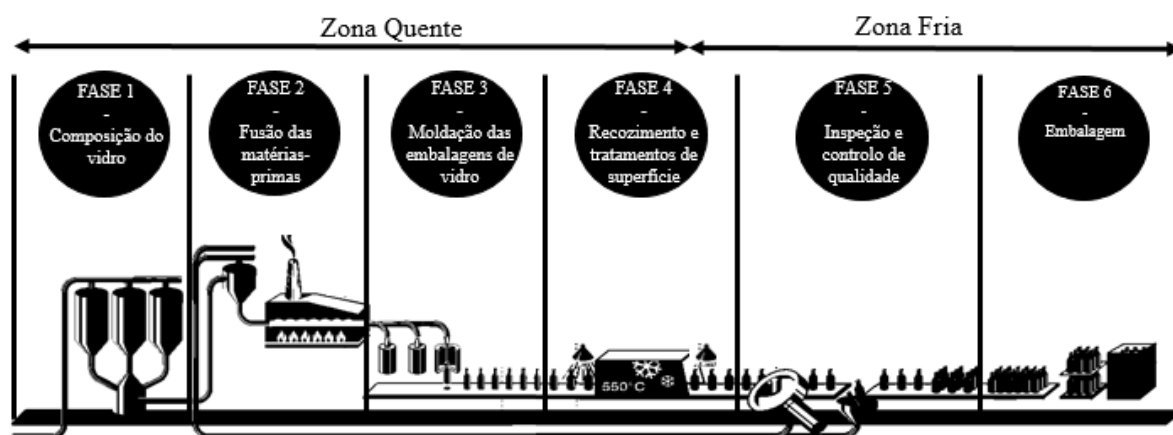


Figura 11 - Esquema do Processo Produtivo e das Respetivas Zonas e Fases.

Fonte: Adaptado de (Alves 2012).

A primeira fase do processo é a composição e mistura do vidro. Nesta fase, as matérias-primas são armazenadas em silos próprios, doseadas e misturadas para obtenção da massa vítrea, que segue depois para os fornos onde sucede a fusão. A composição base é areia, o carbonato de sódio e o calcário. A areia é o vitrificante, indispensável à criação da rede vítrea. O sódio é um fundente e é responsável por baixar a temperatura de fusão. O calcário é um estabilizante que aumenta a resistência contra agentes químicos. Existem depois outros componentes, em pequena quantidade, como por exemplo os afinantes e corantes. A esta composição é ainda incorporado casco tratado, isto é, resíduos de vidro moído resultantes de reciclagem interna e/ou externa. A percentagem de casco na massa a vitrificar varia entre os

50% e os 65%, dependendo da quantidade disponível. A mistura destas matérias-primas em quantidades variáveis define a cor do vidro.

Ocorrendo a mistura das várias matérias-primas e casco, esta segue para o forno de fusão. Aqui a massa é fundida, homogeneizada e afinada a uma temperatura entre os 1500°C e os 1600°C. O forno é constituído por blocos refratários para resistir às temperaturas elevadas que ocorrem e tem um tempo de vida entre 10 a 12 anos, dependendo da sua utilização. A fusão acontece através dos queimadores alimentados a gás natural, existindo uma câmara de regeneração, onde o ar necessário para a combustão é previamente aquecido através do ar quente gerado. O vidro liquefeito move-se ao longo do tanque, procurando-se ter uma massa completamente homogeneizada termicamente de modo a não comprometer a qualidade do produto final.

Chegado à zona final do forno de fusão, o vidro já fundido é conduzido por canais aquecidos a gás natural até às linhas de produção correspondentes. No final dos canais, o fluido vítreo cai continuamente sob a forma de fio e é cortado em porções de peso e tamanho dependentes da dimensão da embalagem a ser produzida. Estas porções de vidro são chamadas de gotas. As gotas são encaminhadas para as várias secções das máquinas de moldação, chamadas de máquinas IS (*Individual Section*) através de calhas e defletores. As máquinas IS são acionadas pneumáticamente e a sua característica principal é a existência de secções. O número de secções varia entre oito a vinte e o funcionamento de cada uma delas é independente das restantes, permitindo parar uma ou mais secções sem interromper as outras. Assim, caso uma secção precise de manutenção ou reparação, a produção não sofre uma paragem completa. Cada secção pode ter até quatro cavidades e cada uma destas cavidades pode receber simultaneamente uma gota de vidro fundido, definindo assim o número de embalagens que podem ser moldadas ao mesmo tempo. O número de gotas varia desde gota simples, dupla, tripla e quádrupla, dependendo se a secção tem uma cavidade, duas, três ou quatro respetivamente.

A moldação de uma embalagem é realizada em duas fases: na primeira fase o vidro é introduzido no molde de principiar presente num dos lados da máquina, onde o artigo adquire a sua forma inicial, chamada de pré-forma; na segunda fase, a pré-forma é transferida para o molde final, no lado oposto da máquina IS e onde a embalagem adquire a sua forma final. Este processo de transferência tem o nome de inversão (Figura 12).

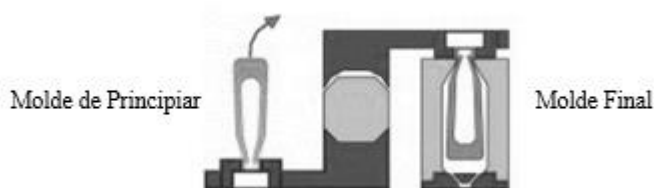


Figura 12 - Inversão nas Máquinas IS.

Fonte: BA.

Existem principalmente dois processos de fabrico de embalagens de vidro: Soprado-Soprado (SS) e o Prensado-Soprado (PS). Existe ainda um outro processo, o chamado *Narrow Neck Press and Blow*, que deriva do processo PS para garrafas mais leves e com embocaduras mais estreitas. De notar que a principal diferença entre estes processos reside na forma como o esboço, designado também por *parison*, é criado.

No processo SS a gota, quando cortada pelas tesouras, é encaminhada para o molde de principiar (Figura 13 – Parte 1), onde sofre uma compressão, ou seja, entrada de ar comprimido no molde e que permite a formação da marisa (parte superior do gargalo) (Figura 13 – Parte 2). Por ação de um sopro contrário ao anterior, a pré-forma fica com o formato do molde de principiar, formando-se o *parison* (Figura 13 – Parte 3). De seguida, o *parison* é

invertido (Figura 13 – Parte 4) e transferido para o molde final, onde mais uma vez vai ocorrer um sopro pneumático (Figura 13 – Parte 6) para formar a garrafa. Na Figura 13 – Parte 7, a embalagem fica pronta, saindo da máquina IS e entra no tapete rápido que a conduz para os tratamentos de superfície. Este processo é utilizado para garrafas de gargalo estreito.

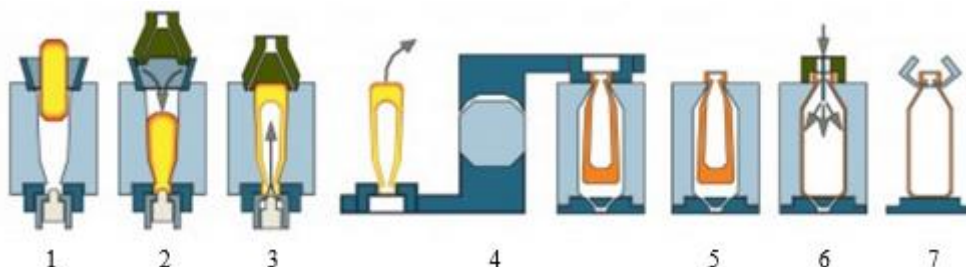


Figura 13 - Fases do Processo de Moldação Soprado-Soprado.

Fonte: BA.

No processo PS e ao contrário do que acontece no processo SS, o *parison* é formado por um punção. A gota cai no molde de principiar (Figura 14 – Parte 1), depois o tampão fecha o molde e o punção empurra o vidro, formando-se assim o *parison* (Figura 14 – Parte 2 e 3). O resto do processo é igual ao anterior. De notar que o processo PS é comum ser chamado de Prensado-Soprado de boca larga. Em relação ao processo PS, existem dois tipos: P62 e P41. A grande diferença entre eles reside no facto do último utilizar um molde de principiar de apenas uma peça. Tendo em conta este fator, as embalagens de vidro são mais resistentes devido à inexistência de costuras. O P41 produz recipientes de vidro muito leves e com alta cadência. O processo PS é utilizado para frascos de boca larga e em relação ao processo SS tem um melhor controlo da distribuição do vidro.

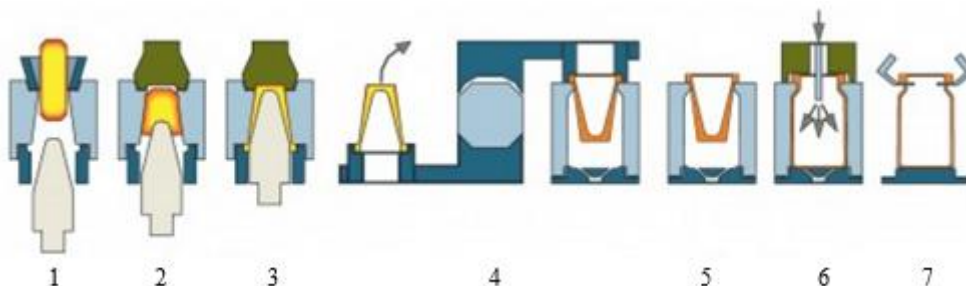


Figura 14 - Fases do Processo de Moldação Prensado-Soprado.

Fonte: BA.

As fases do processo NNPB são ilustradas na Figura 15. O processo NNPB deriva do processo PS, mantendo o uso do punção na formação do *parison*. No entanto e devido a uma evolução no material do punção, que consegue resistir a temperaturas mais elevadas, tornou-se possível fabricar punções mais finos e assim capazes de penetrar gargalos estreitos. Foi assim superada uma limitação do processo PS. Visto que o processo PS permite uma melhor distribuição do vidro comparativamente ao processo SS, o NNPB foi uma das maiores conquistas no fabrico de embalagens mais leves.

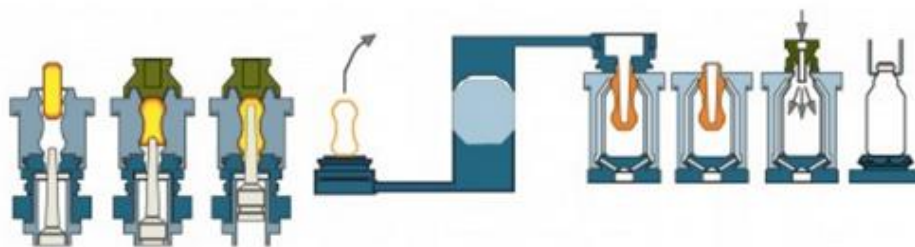


Figura 15 - Fases do Processo de Moldação *Narrow Neck Press and Blow*.

Fonte: BA.

Trata-se de um processo caro uma vez que utiliza punções especiais. Em relação ao processo SS, o NNPB é mais caro, fabrica embalagens com menos peso e com melhores distribuições do vidro ao longo da mesma, exigindo mais no que diz respeito à manutenção do equipamento.

Após a fase anterior, as garrafas são transportadas por um tapete que as conduz ao longo de um túnel para aplicação do Tratamento de Superfície a Quente (TSQ). Este primeiro tratamento consiste no revestimento das embalagens com cloretos de estanho ou titânio de modo a dar rugosidade à garrafa e a promover uma melhor adesão do Tratamento de Superfície a Frio (TSF). De seguida, as garrafas passam por uma arca de recozimento onde arrefecem gradualmente. Estão entre 45 a 60 minutos dentro da arca e a temperatura da mesma atinge os 550°C. De notar a importância do recozimento visto que durante a moldação, as garrafas contactam com as paredes dos moldes cujas temperaturas são mais baixas e assim há uma diferença de temperaturas entre a camada externa e interna da garrafa, havendo existência de tensões. O recozimento visa assim eliminar essas tensões com a homogeneização térmica do vidro e aqui termina a Zona Quente. A zona Fria começa com o TSF, onde as embalagens recebem um outro tratamento – um polietileno. Tanto o TSQ como o TSF têm o objetivo de conferir maior resistência ao choque mecânico, formando uma película protetora contra riscos, reduzir o atrito entre garrafas e permitir a deslocação das embalagens ao longo das linhas.

Finalizada a operação do TSF, as garrafas são encaminhadas para as máquinas de inspeção automática. Estas máquinas analisam os defeitos e rejeitam as embalagens defeituosas. As embalagens rejeitadas são enviadas para um circuito de reciclagem, chamado de circuito de refugo que conduz o vidro rejeitado para o tratamento de casco, onde é reaproveitado.

As máquinas de inspeção dividem-se em dois tipos: visuais e rotativas. As primeiras inspecionam o corpo da embalagem e o topo e o fundo. Denominam-se visuais visto que o processo de inspeção é baseado na fotografia de várias perspetivas que são analisadas por contraste e algoritmos de análise de imagem. As principais características inspecionadas nas máquinas visuais são de caráter dimensional: diâmetro, altura e verticalidade. Defeitos visuais como bolhas e pedras também são inspecionados. As máquinas rotativas são assim denominadas pela forma como as garrafas passam no seu interior. As características inspecionadas são calibre interior e exterior, estanquicidade, estalados, ovalização e espessura.

Após a inspeção das garrafas, as unidades que são consideradas conformes seguem para a paletização automática, onde são dispostas por camadas, em paletes, cobertas com um filme plástico para proteger todas as garrafas e facilitar o seu transporte. As paletes já constituídas são enviadas para o armazém. O cliente é que define a forma como as garrafas são acondicionadas: número de camadas, tipo de separação entre camadas, entre outros fatores. Esta segunda zona, desde o TSF até ao final, é chamada de Zona Fria.

3.2 Tipos de Defeitos

Como em qualquer outro produto, existem defeitos que surgem após a fabricação e ainda mais numa indústria vidreira onde a variabilidade do processo é grande. Existem mais de cem defeitos classificados.

A BA possui três classes de defeitos: defeitos críticos, defeitos absolutos e defeitos relativos. Esta divisão é baseada no nível de perigo que os mesmos apresentam, onde os defeitos críticos são os mais graves e os relativos, os menos graves.

Defeitos críticos são os defeitos que provocam ou são suscetíveis de provocar, condições perigosas ou inseguras para os utilizadores de embalagens de vidro. Estão associados por isso a defeitos na zona do gargalo e marisa e a contaminações do interior da garrafa com vidro partido.

Relativamente aos defeitos absolutos, estes podem tornar as embalagens incapazes de suportar com êxito as condições de utilização ou diminuir o rendimento de enchimento. Os mais comuns são os estalados que são pequenas fissuras.

Por último, os defeitos relativos são aqueles que não apresentam danos para o consumidor final e são apenas de carácter visual. Na Figura 16 é apresentada uma legenda com as várias zonas existentes numa garrafa de vidro.

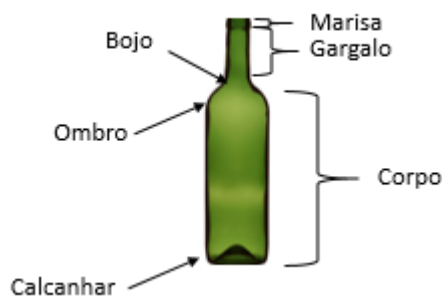


Figura 16 - Zonas de uma Garrafa de Vidro.

3.3 Controlo Estatístico do Processo

O controlo estatístico do processo (CEP) tem como objetivos possibilitar a observação de tendências, determinação de características que requerem maior seguimento, modificação de parâmetros do processo, realização de ações preventivas e apoio na tomada de decisão como por exemplo, alteração da cadência da máquina. Incentivar a atuação no caso de serem detetados pontos fora do controlo durante o processo de fabrico é também um propósito.

Este controlo acontece na Zona Quente e é lá que ocorrem testes às características das embalagens produzidas, tais como controlo de verticalidade, espessura de fundo, horizontalidade, entre outros. É de notar que os ensaios incidem nos atributos dimensionais da garrafa porque nesta zona elas ainda se encontram bastante frágeis e a uma temperatura elevada o que impossibilita outro tipo de inspeções.

Todas as linhas têm uma bancada com os equipamentos de medição necessários para a respetiva referência e um computador com *software* VSPC (*software* utilizado para o CEP na BA). O *software* utilizado pode ser visualizado na Figura 17.



Figura 17 - Software VSPC.

As bancadas estão localizadas na Zona Quente e as medições ocorrem pós-moldação, como visível na Figura 18.



Figura 18 - Bancada na Zona Quente, Onde Ocorrem as Medições CEP.

Sempre que há um arranque da máquina ou uma mudança de ferramenta na mesma, a produção é teoricamente validada pelos equipamentos CEP através de um ADF (Análise de distribuição de Frequência). Para isto, realiza-se a medição de duas garrafas por molde, que são analisadas através de gráficos de controlo de média e amplitude. O objetivo de uma análise deste género é identificar e eliminar possíveis pontos que estejam fora das tolerâncias naturais do processo e que possam pôr em causa o estudo da capacidade do mesmo.

Paralelamente ao ADF existe o *Fair (First Article Inspection Report)* que pretende analisar características dimensionais das garrafas ao longo da sua produção. Com isto e através de uma amostra são controladas e monitorizadas algumas das características das garrafas produzidas. Estas características a serem medidas são definidas em Job ON e estão presentes na carta de trabalho existente em todas as bancadas CEP. A frequência de amostragem pode variar de referência para referência, mas normalmente são recolhidas cinco garrafas aleatórias numa hora. Isto significa que teoricamente num turno de oito horas, o número de garrafas verificadas seria de quarenta.

A folha de Job ON é definida na reunião de Job ON, onde se esclarecem as características dimensionais a medir, assim como a sua periodicidade.

Todas as linhas têm um condutor de máquina e ele é o responsável por realizar todas as medições CEP, por atuar/corrigir pontos fora do controlo e por requalificar a ou as cavidades através de um ADF. Juntamente aos condutores de máquina existe um afinador responsável por três linhas simultaneamente. Assim, no forno dois e quatro existem três condutores de máquina e um afinador. No forno cinco que possui cinco linhas existem cinco condutores de

máquina e dois afinadores. Na Figura 19 é apresentado o esquema representativo dos fornos e das linhas da Fábrica de Avintes. O papel do afinador é auxiliar os condutores de máquina nas correções de situações fora do controlo, auxiliar na requalificação e apoiar na tomada de decisão. A comunicação entre o afinador e o condutor de máquina é essencial para garantir a estabilidade e o controlo do fabrico das embalagens de vidro.

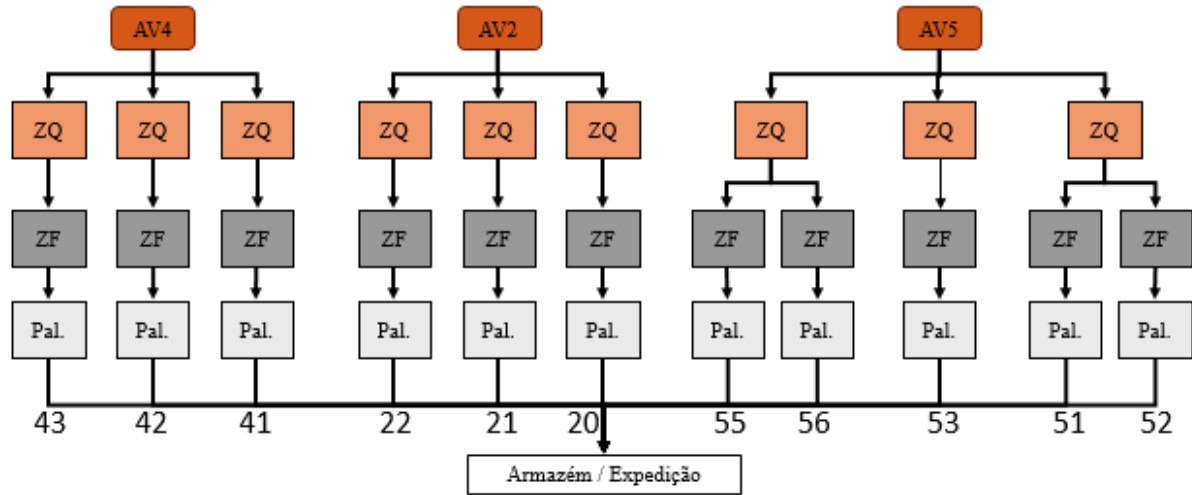


Figura 19 - Esquema Representativo dos Fornos e das Linhas da Fábrica de Avintes.

3.3.1 Aparelhos de Medição Utilizados

A medição das características CEP depende de referência para referência. Há referências onde por exemplo, a característica ovalização é mais crítica do que outras e como tal, nestas últimas não se fazem medições de ovalização.

Atualmente, as características medidas no controlo estatístico do processo são: verticalidade, horizontalidade, ovalização, espessura de fundo/calcanhar, espessura de ombro e verticalidade do gargalo. Cada uma destas características tem um aparelho de medição associado. Este aparelho de medição é composto por um suporte/base e por um comparador/medidor ligado ao computador. Na Figura 20 podem ser visualizadas as diferentes partes de um aparelho de medição.

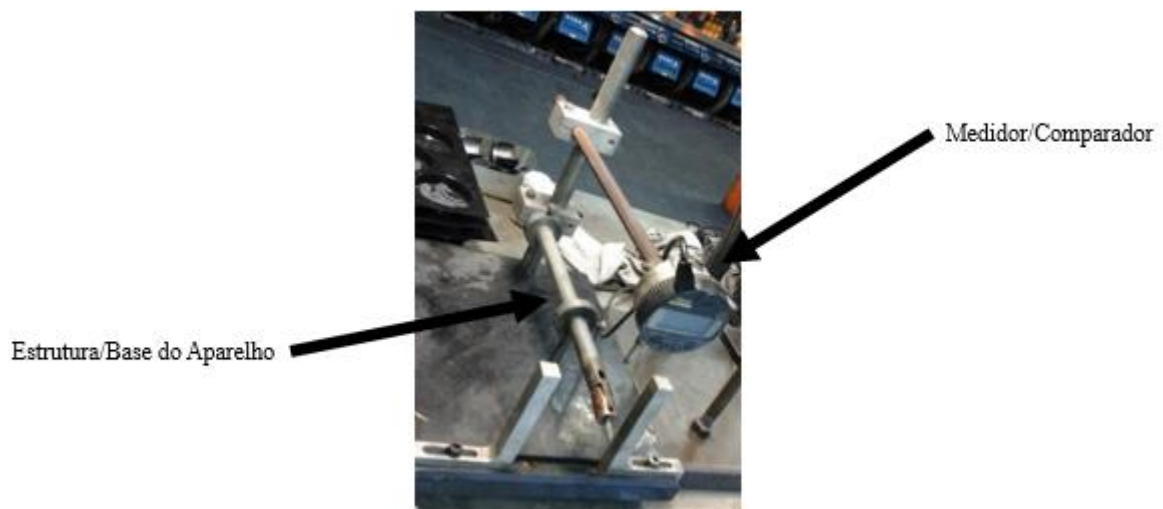


Figura 20 - Constituintes de um Aparelho de Medição.

Na Figura 21 podem ser observados os aparelhos de medição existentes nas linhas de produção relativos à espessura de ombro, espessura de fundo e ovalização.

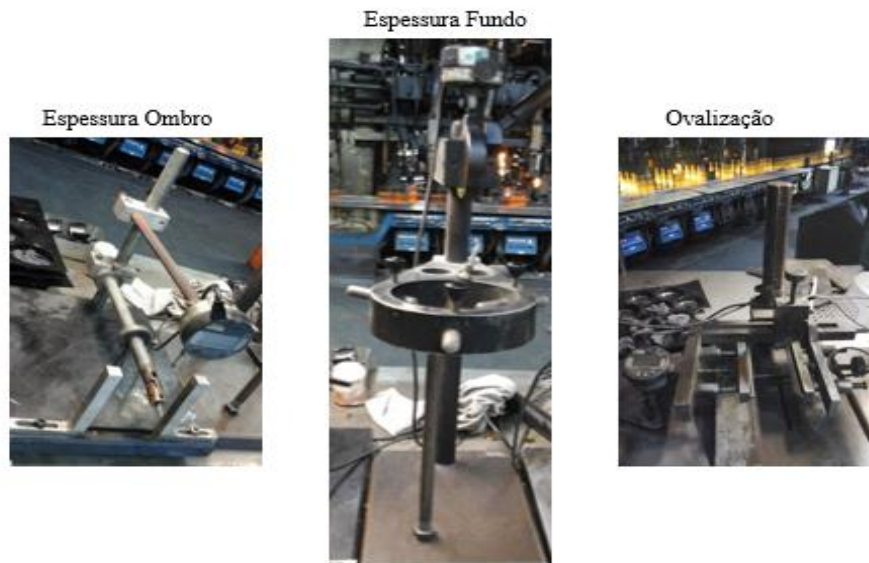


Figura 21 - Aparelhos de medição de Espessura Ombro, Espessura Fundo e Ovalização.

Na Figura 22 visualizam-se os aparelhos de medição relativos à verticalidade, horizontalidade e verticalidade do gargalo.

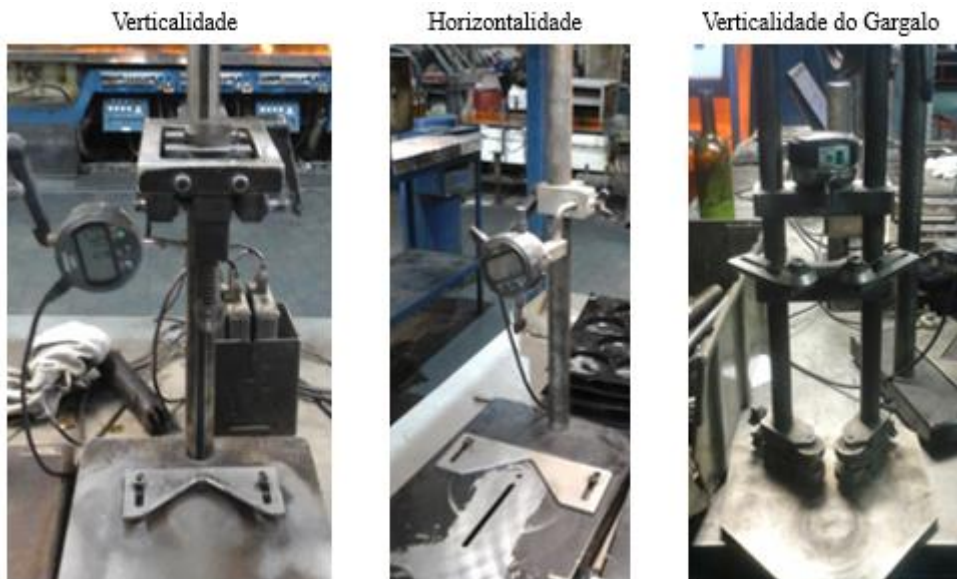


Figura 22 - Aparelhos de medição de Verticalidade, Horizontalidade e Verticalidade do Gargalo.

Os sistemas de medição são imprescindíveis para o Controlo Estatístico do Processo. Sem eles, não é possível realizar medições das características dimensionais das garrafas e sem isso não se controla o processo. No entanto, é de referir que eles se encontram sujeitos à variação. Como resultado disso, uma análise do processo não é viável a menos que os aparelhos de medição utilizados para a recolha de dados seja exato e preciso.

3.3.2 Principais Problemas Encontrados

Os principais problemas encontrados no funcionamento do CEP estão relacionados com a gestão visual do espaço onde são feitas as medições, aparelhos de medição, conhecimento por parte dos operadores e envolvimento das chefias, normalização de tarefas e procedimentos.

Para melhor compreender quais os problemas existentes e também o porquê da resistência de alguns operadores, realizaram-se questionários em todos os turnos de modo a obter a opinião de todos os condutores de máquina e afinadores da Fábrica de Avintes. A Fábrica trabalha vinte e quatro horas, sete dias por semana e por isso existem quatro turnos (A, B, C e D) de oito horas, existindo um turno extra para compensar nas 24h de descanso. Os turnos são rotativos o que significa que o turno de hoje que entra às 8h e sai às 16h, no dia seguinte entrará às 16h e trabalhará até às 24h e assim sucessivamente.

O número total de inquiridos foi de sessenta pessoas, dos quais quarenta e quatro são condutores de máquina e dezasseis são afinadores. Decidiu-se inquirir também os afinadores uma vez que apesar de não serem os responsáveis pela realização das medições, já o fizeram em algumas situações e auxiliam muitas vezes os condutores.

Na pergunta “Sabe qual o objetivo do CEP?”, 93% dos inquiridos respondeu “SIM” dizendo que o principal objetivo era controlar o processo e algumas das dimensões críticas das garrafas. Na pergunta “Considera o CEP útil e importante para a produção?”, 100% dos inquiridos respondeu “SIM”. A terceira pergunta, “Acha incómodo realizar as medições CEP?”, gerou mais controvérsia e muitos dos inquiridos queixaram-se que não consideram incómodo realizar as medições CEP desde que a máquina esteja estável, ou seja, com uma produção estável e sem muitos problemas. No entanto, a opinião esteve bastante dividida entre os vários turnos como é possível visualizar na Figura 23.

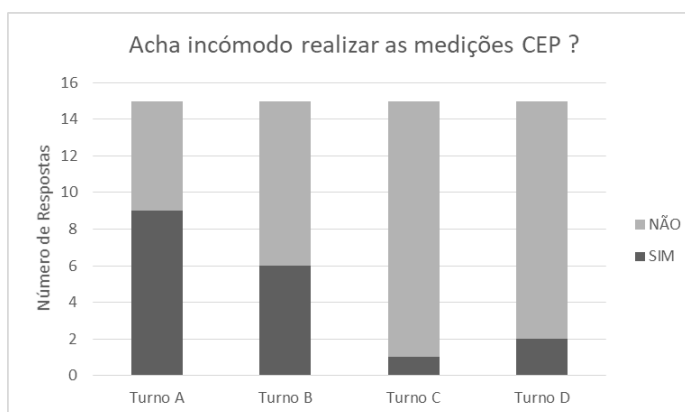


Figura 23 - Respostas dos vários turnos à pergunta "Acha incómodo realizar as medições CEP?".

Os turnos C e D não consideram desconfortável realizar as medições enquanto os turnos A e B já se queixam mais. As principais razões pelas quais existe queixa nestes turnos é a falta de tempo e o facto dos equipamentos de medição não serem adequados. Assim, 30% dos inquiridos considera incómodo realizar o CEP e algumas pessoas dizem que quando não têm tempo, não realizam as medições necessárias. Na pergunta “O equipamento de medição é adequado?”, 25% dos inquiridos considera que não é adequado, sendo o turno A o que mais se queixa com cerca de 60% do mesmo a dizer que o equipamento não é apropriado. Na última pergunta “Gostaria de participar numa formação sobre CEP?”, 75% dos inquiridos respondeu que estaria interessado numa formação sobre este tema.

As sugestões dos inquiridos são interessantes e foram as seguintes:

- Os colaboradores mais recentes necessitam de formação sobre CEP. Mesmo os colaboradores com mais anos de experiência referiram que não tinham uma formação CEP há pelo menos oito anos;
- Verificação preventiva dos comparadores e renovação dos aparelhos em mau estado. Referiram também que os computadores e o *software* utilizado estão um pouco desatualizados e lentos;

- Ter pessoas específicas só a realizar as medições CEP. Uns dizem “Ter uma única pessoa por turno a fazer as medições CEP em todas as linhas” enquanto outros operadores são mais exigentes e referem “Ter uma pessoa por forno a fazer as medições CEP”.

De notar que existem referências com mais características CEP que precisam de medição, havendo assim linhas mais problemáticas do que outras no que diz respeito ao tempo e por isso é normal não existir consenso entre os colaboradores relativamente à falta de tempo que têm para realizar o CEP.

Nesta altura o CEP não estava a ser utilizado como uma ferramenta de prevenção da qualidade do produto nem como uma ferramenta de controlo de processo porque:

- Os operadores não possuem conhecimento técnico para análise dos dados e não sabem como reagir a algo anormal;
- A análise dos dados da Zona Quente só ocorre mais tarde no processo pelo que não se eliminam os desperdícios dos produtos não conformes;
- Apesar dos operadores saberem qual o objetivo do CEP, usam aquilo apenas como ferramenta de medição e não como ferramenta de controlo, caracterização do processo e análise de tendências.

Gestão visual

Um problema que se observou foi a discordância entre a carta de trabalho presente em cada linha e a ficha de job ON. A carta de trabalho, como o nome indica, refere as tarefas e a frequência de cada tarefa que os operadores têm de realizar ao longo do seu turno. Nesta carta de trabalho constam as características CEP que precisam de ser medidas e a frequência das mesmas. A ficha de job ON é a ficha que se prepara com o lançamento da nova referência onde são descritos problemas anteriores com essa referência, características CEP que necessitam ser medidas, entre outras coisas. A discordância reside principalmente no facto de que, por vezes as cartas de trabalho obrigam a realizar medições CEP diferentes das fichas de job ON. Verifica-se assim que tem que se ter cuidado com a atualização das cartas e fichas e também é preciso comunicação entre quem prepara umas e outras.

Um outro problema tem a ver com o facto de os gestores de turno não terem um sumário com os principais indicadores relacionados com o controlo estatístico do processo. Não é possível ver de forma rápida e simples se o turno está a cumprir com as tarefas CEP e principais pontos fora do controlo, a não ser através do *software* VSPC. Para além disso, não existe nenhuma folha de controlo, onde os operadores justificam o porquê de por vezes não cumprirem o plano de controlo.

Aparelhos de Medição

Foi realizado um estudo *Gage R&R (Reproducibility & Repeatability)* com a finalidade de avaliar o sistema de medição utilizado pela Empresa. Neste estudo participaram três condutores de máquina e utilizaram-se dez garrafas aleatórias da mesma referência. Cada colaborador realizou três medições para a mesma garrafa e avaliaram-se unicamente os aparelhos de medição presentes na linha piloto – Linha 21. Os aparelhos testados foram: medidor de verticalidade, horizontalidade, espessura de ombro e espessura de fundo. Os resultados foram registados e posteriormente analisados graficamente e numericamente com recurso ao *software minitab*.

Os resultados de todos os aparelhos de medição testados foram cuidadosamente avaliados, a fim de se determinar se o aparelho é aceitável para a aplicação pretendida. Neste caso, todos eles manifestaram uma percentagem de erro superior a 30%, havendo claramente problemas ao nível do sistema de medição. Problemas como, o operador não estar treinado para realizar

as medições e problemas como as estruturas/bases dos aparelhos não serem adequadas e não permitirem a estabilidade no processo de medição. Assim, e tendo em conta os resultados, os aparelhos de medição estudados não são aceitáveis porque existe falta de repetibilidade, isto é, falta de precisão, consequência de condições inerentes ao próprio aparelho de medição, mas também, falta de reprodutibilidade, derivada de dois ou mais operadores terem medições distintas para o mesmo produto.

Outra questão pertinente é a quantidade de comparadores/medidores e suportes/bases existente em *stock*, uma vez que caso exista algum equipamento danificado será necessário possuir uma reserva para não comprometer as medições e o controlo estatístico do processo. No início foi feito um levantamento da quantidade existente tanto em linha como em *stock* de medidores e bases/suportes. O levantamento das bases/suporte pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela com o Número de Bases/Suportes em Linha e *Stock*.

	Nº EM LINHA	Nº EM STOCK	TOTAL
Horizontalidade	9	2	11
Verticalidade	11	0	11
Espessura Fundo	6	2	8
Ovalização	6	1	7
Espessura Corpo/Ombro	5	3	8
Verticalidade do Gargalo	1	0	1
Total	38	8	46

Através da análise da tabela acima representada, pode-se verificar que há suportes/bases que não têm *stock*. Relativamente aos comparadores/medidores existe apenas um em *stock*, estando os outros trinta e oito em linha, daí não se apresentar nenhuma tabela para estes. A probabilidade de um suporte/base se danificar é muito baixa, mas podem haver referências que exigem mais suportes/bases e que não existem em *stock*. A probabilidade dos comparadores/medidores se danificar é grande.

Todos os medidores/comparadores estão devidamente identificados e a eles associado existe uma ficha de calibração. Quanto aos suportes/bases, estes não se encontram identificados pelo que seria adequado ter uma identificação para cada um de modo a saber o que existe e os que se danificam.

Cultura dos Operadores

Durante um turno, um operador realiza periodicamente as medições CEP pedidas nas amostras que vai retirando da linha. À medida que ele vai introduzindo os valores no *software*, gráficos de média, amplitude e histogramas vão aparecendo, contudo não existe uma observação atenta dos mesmos durante o turno. A análise destes dados só ocorre no dia seguinte. De acordo com o objetivo do CEP, este procedimento não é o adequado. O controlo estatístico do processo deverá ser utilizado no chão de fábrica, e em tempo real, pelos operadores cujas tarefas incluem a recolha dos dados e a imediata atuação a situações fora do controlo ou até a situações que possam ficar fora do controlo.

Apesar das dificuldades sentidas pelos operadores em analisar dados estatísticos, histogramas e gráficos de controlo, o *software* deve informar, de forma intuitiva, os operadores acerca das situações fora de controlo. De facto, por vezes, os operadores não sabem como atuar em algumas situações, o que limita uma implementação eficiente do CEP. Os operadores devem

conhecer como o *software* funciona e ter conhecimento estatístico básico para compreenderem a importância do controlo estatístico do processo. Adicionalmente, o envolvimento das chefias também é essencial. Um envolvimento de todos os colaboradores, principalmente dos gestores de turno e chefes de departamento, conduzirá a uma cultura de melhoria contínua.

Os aspetos relacionados com a priorização de objetivos, bem como os aspetos comportamentais e culturais, necessitam de uma maior interiorização, por forma a atingir os objetivos de qualidade e produção pretendidos.

3.4 Controlo de Qualidade e Reescolha

Na deteção de defeitos através dos dados CEP, rejeições nas MIL (Máquinas de Inspeção em Linha) ou mesmo análises visuais, são acionados procedimentos de reinspeção. O procedimento consiste na seleção da antepenúltima paleta formada para verificar se existe defeito ou não e caso haja, as últimas três paletes serão rejeitadas. A estas poderão vir a ser adicionadas até três paletes antecedentes até que se constate que o defeito está completamente estancado.

As garrafas que se encontram conformes são novamente avaliadas de modo a verificar se poderão ser paletizadas – processo que tem o nome de reescolha. De notar que os procedimentos podem variar de acordo com as circunstâncias encontradas e o tipo de defeito a inspecionar.

3.5 Melhoria do CEP

Dada a importância que o Controlo Estatístico do Processo tem numa organização industrial e dadas as limitações do sistema CEP atual, propôs-se intervir em quatro áreas distintas: i) sistemas de medição; ii) comportamento dos operadores que realizam as medições e envolvimento das suas chefias; iii) gestão visual focada para o controlo do processo; iv) análise de tendências com propostas de atuação.

3.5.1 Escolha da Linha Piloto

Numa primeira fase e após perceber o objetivo deste projeto, foi decidido qual a linha piloto do mesmo. Esta linha piloto permitiu focalizar o trabalho numa fase inicial. Não fazia sentido haver uma referência piloto, mas sim uma linha piloto uma vez que as linhas nunca estão com a mesma referência. Assim, o foco é melhorar o CEP numa linha para depois caso haja sucesso, replicar o CEP nas restantes.

A linha escolhida foi a linha 21, pertencente ao forno 2. O critério de escolha foi ser uma linha com produção estável, com poucas mudanças de fabrico e por isso produzir o mesmo produto acabado durante um longo período de tempo. Esta linha irá produzir garrafas de cerveja nos meses de análise, sendo habitualmente referências com muita procura.

4 Aplicação da metodologia proposta

4.1 Análise ao Sistema de Medição - MSA

A análise ao sistema de medição desenvolvida teve como objetivo aferir o estado dos aparelhos de medição usados na linha piloto (i.e. linha 21). Os aparelhos analisados foram o COMP 0534 (comparador que mede espessura de ombro), COMP 0304 (comparador que mede espessura de fundo), COMP 0507 (comparador que mede verticalidade) e COMP 0506 (comparador que mede horizontalidade). A calibração destes comparadores é efetuada de dois em dois anos com recurso à utilização de um calibrador de comparadores PRECIMAR e um dinamómetro digital.

O objetivo desta avaliação focou-se na estimativa combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade do sistema de medição, originando uma estimativa da variação do sistema de medição. Para isso, recorreu-se ao *software* Minitab para efetuar uma análise por variáveis gráfica e numérica.

4.1.1 Metodologia

A metodologia seguida neste estudo do sistema de medição está representada na Figura 24.

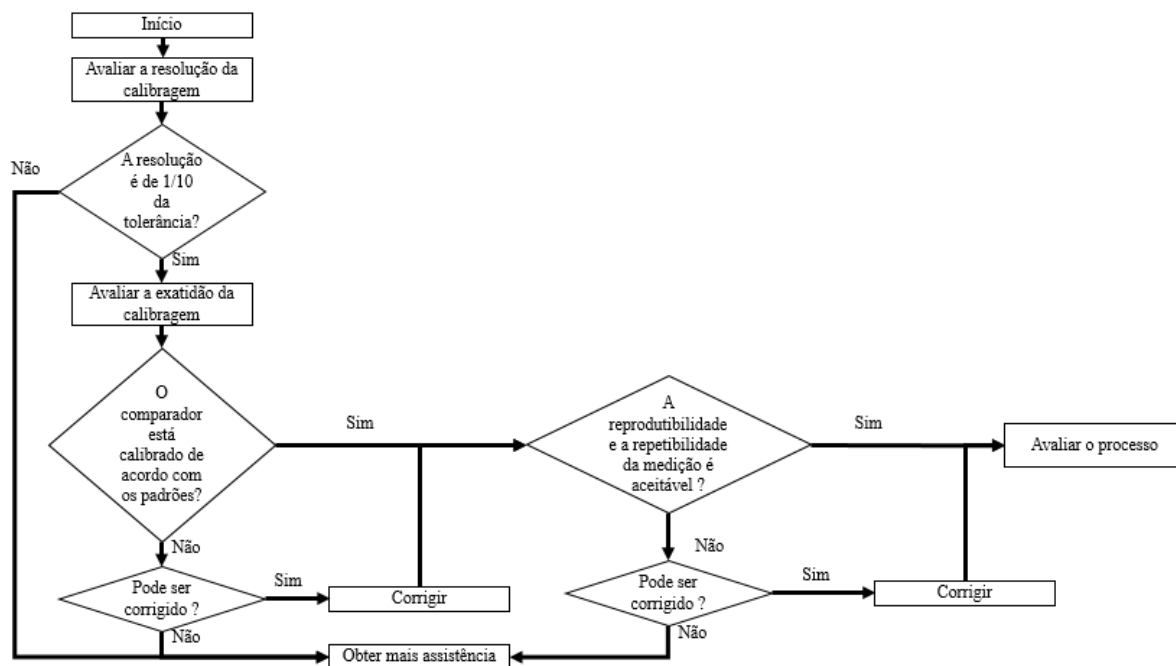


Figura 24 - Metodologia seguida na Avaliação do Sistema de Medição.

Tendo em conta as tolerâncias para as características dimensionais que os aparelhos estudados medem, a resolução de calibragem foi considerada adequada. Relativamente à calibração dos medidores, todos eles se encontram no prazo de validade de calibração sendo esta efetuada de dois em dois anos.

Já tendo sido avaliados os primeiros dois passos do fluxograma da metodologia acima representada, procedeu-se ao estudo de repetibilidade e reprodutibilidade propriamente dito. Para este estudo por variáveis reuniram-se dez amostras. Numeraram-se as dez amostras de maneira a serem o menos visível aos colaboradores em estudo. Seleccionaram-se três operadores de turnos diferentes e que realizam as medições no seu dia-a-dia e cada operador realizou três medições de cada amostra. Avaliaram-se quatro aparelhos de medição presentes na linha piloto e os resultados foram registados e podem ser encontrados no Anexo C, tendo-se efetuado no final a análise dos resultados em termos gráficos e numéricos.

4.1.2 Análise Gráfica dos Resultados

Para a análise gráfica dos resultados foi seleccionado o método dos gráficos de controlo – o método clássico da média e amplitude. O método da ANOVA também poderia ser utilizado, mas conduziria a resultados muito similares uma vez que é possível assumir que a interação operador e amostra não é significativa. A capacidade de um operador medir uma garrafa não depende da garrafa que está a ser medida até porque elas são da mesma referência e por isso muito similares.

Na Figura 25, podem-se observar os resultados gráficos do aparelho de medição de verticalidade.

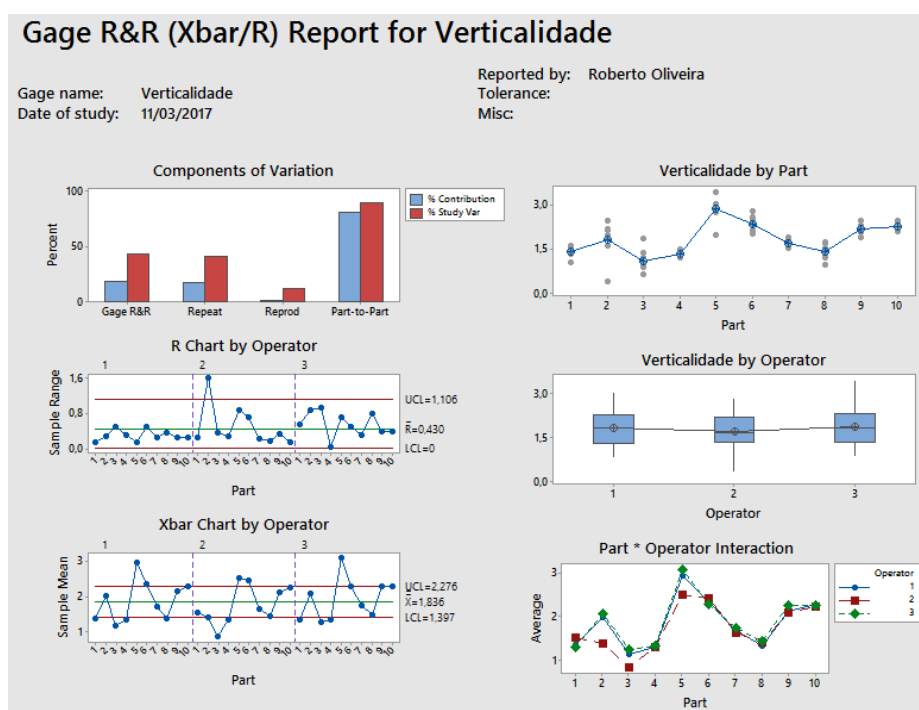


Figura 25 - Resultados Gráficos do MSA para o Aparelho de Medição de Verticalidade.

Análise da Variação do Estudo

Tendo por base a Figura 25, no gráfico das componentes de variação podem ser visualizados quatro conjuntos de barras em que cada uma delas representa uma componente específica de variação. O conjunto de barras denominado de Gage R&R representa a variação causada pelo sistema de medição. É de notar que esta variação é constituída pela repetibilidade e reprodutibilidade estando estas componentes também representadas no gráfico.

Repetibilidade é a variação observada quando a mesma garrafa é medida múltiplas vezes pelo mesmo operador. Já a variação causada pela reprodutibilidade está relacionada com a variação observada quando a mesma garrafa é medida por diferentes operadores.

O último conjunto de barras *part-to-part* apresenta a variação entre as diferentes garrafas. Representa a variação entre elas e não a variação causada pelo sistema de medição. Visto que

as garrafas são diferentes e têm verticalidades diferentes, é espectável observar variação entre as garrafas e o ideal é que esta componente seja a maior componente de variação.

Analisando cada barra de cada conjunto, pode ser visto que existem duas barras, uma azul e outra vermelha. A barra azul é a percentagem de variação com a qual cada componente contribui para a variação total. A barra vermelha compara o desvio padrão de cada componente com o desvio padrão total. Quando se pretende comparar a variação do sistema de medição com a variação total, é esta última barra que se analisa.

Observando o gráfico de variação é possível verificar que a variação proveniente das amostras é superior à variação proveniente do sistema de medição, situação que é desejável. Para além disso, a variação que advém do sistema de medição é maioritariamente provocada pela repetibilidade e não pela reprodutibilidade. Assim, a maior parte desta variação é causada quando o mesmo operador mede a mesma garrafa múltiplas vezes.

Análise da Repetibilidade e da Estabilidade

No gráfico das amplitudes (*R chart*) pode-se analisar a repetibilidade. Este mede a amplitude dos valores para a combinação garrafa e operador. Este gráfico tem limites de controlo que representam a variação esperada se o operador for consistente ao longo do tempo. Analisando o gráfico, pode-se verificar que muito provavelmente o operador 2 realiza as medições muito rapidamente e como resultado é inconsistente. De notar que este operador apresenta um ponto fora do controlo e apresenta também amplitudes muito grandes ou seja, uma má repetibilidade. O operador 3 apesar de não ter nenhum ponto fora do controlo apresenta igualmente amplitudes elevadas e conseqüentemente uma menor repetibilidade. O operador 1 é aquele que apresenta amplitudes mais baixas e conseqüentemente uma maior repetibilidade.

Análise da Reprodutibilidade e da Variação do Sistema vs Variação das Amostras

Visto que os limites de controlo do gráfico das médias (*Xbar Chart*) são baseados na variação de repetibilidade observada no gráfico de amplitudes, é importante assegurar que este está controlado antes de analisar o gráfico das médias. Caso a variação de repetibilidade não esteja em controlo, os limites de controlo deste são inválidos. Visto que neste caso, apenas um ponto está fora dos limites de controlo no gráfico de amplitudes, pode-se analisar o gráfico das médias uma vez que os limites de controlo são válidos. Observando o gráfico das médias, verifica-se que a maior parte dos pontos está dentro dos limites e por isso apesar da variação das amostras ser maior do que a variação do sistema de medição como visto no gráfico da variação do estudo, a variabilidade introduzida pelo sistema de medição está acima do aceitável.

Em termos de reprodutibilidade, o ideal é que os operadores apresentem um gráfico com os valores de medição aproximadamente iguais, indicando assim que a variabilidade entre eles é reduzida. Para este estudo pode-se concluir que os operadores 1 e 3 apresentam semelhanças, indicando consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 2 tem medições relativamente diferentes.

Análise da Interação entre Operadores e Amostras

No gráfico *Part*Operator Interaction* apresentado na Figura 25, é possível analisar a interação entre os operadores e as amostras em estudo. Esta análise é um complemento à análise de reprodutibilidade.

Pode-se ver que as medições do operador 1 e do operador 3 se sobrepõem, indicando consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 2 tem medições relativamente diferentes, ora com valores abaixo, ora com valores acima, ora com valores iguais. Um padrão deste género poderá indicar alguma interação entre operador e amostra – possivelmente resultado de falta de treino/formação.

No Anexo D podem-se observar os resultados gráficos dos outros aparelhos de medição estudados – horizontalidade, espessura de fundo e espessura de ombro. Realizou-se uma breve análise gráfica conjunta de todos eles:

Análise da Variação do Estudo

Para a horizontalidade, Figura 49 do Anexo D, é possível observar que a contribuição das amostras para a variabilidade é relativamente similar à variação causada pelo sistema de medição. Dentro da variação do sistema de medição é ainda fácil perceber que o maior problema é a repetibilidade. Para a espessura de ombro, Figura 50 do Anexo D e analisando o gráfico das componentes de variação é possível observar que a contribuição das amostras para a variabilidade é inferior à variação causada pelo sistema de medição. Dentro da variação do sistema de medição é ainda fácil perceber que o maior problema é a repetibilidade. Por último e para a espessura de fundo, Figura 51 do Anexo D, é possível verificar que a variação proveniente das amostras é superior à variação proveniente do sistema de medição, situação que é desejável. Para além disso, a variação que advém do sistema de medição é similarmente provocada pela repetibilidade e pela reprodutibilidade.

Análise da Repetibilidade

Em relação à horizontalidade, Figura 49 do Anexo D, pode-se verificar que muito provavelmente o operador 2 e o operador 3 realizaram as medições muito rapidamente e os resultados são inconsistentes. De notar que ambos os operadores apresentam um ponto fora do controlo e apresentam também amplitudes muito grandes ou seja, uma má repetibilidade. O operador 1 é aquele que apresenta amplitudes mais baixas e conseqüentemente uma maior repetibilidade. Quanto à espessura de ombro, Figura 50 do Anexo D e espessura de fundo, Figura 51 do Anexo D, muito provavelmente o operador 3 realizou as medições rapidamente e os resultados são menos consistentes. O operador 1 e o operador 2 apresentam amplitudes mais baixas e conseqüentemente uma maior repetibilidade.

Análise da Reprodutibilidade e da Variação do Sistema vs Variação das Amostras

Em relação à horizontalidade, Figura 49 do Anexo D, visto que apenas dois pontos estão fora dos limites de controlo no gráfico de amplitudes, pode-se analisar o gráfico das médias uma vez que os limites de controlo são válidos. Observando o gráfico das médias, verifica-se que a maior parte dos pontos está dentro dos limites e por isso a variabilidade introduzida pelo sistema de medição de horizontalidade é superior ao aceitável. Em termos de reprodutibilidade, o ideal é que os operadores apresentem um gráfico com os valores de medição aproximadamente iguais, indicando assim que a variabilidade entre eles é reduzida. Para este estudo pode-se concluir que os operadores 1 e 2 apresentam semelhanças, indicando consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 3 tem medições relativamente diferentes. Para a espessura de ombro, Figura 50 do Anexo D e observando o gráfico das médias, verifica-se que a maior parte dos pontos está dentro dos limites e por isso a variação causada pelo sistema de medição de espessura de ombro é superior à variação causada pelas amostras. Em termos de reprodutibilidade pode-se concluir que os operadores apresentam padrões diferentes e não semelhantes. Para a espessura de fundo, Figura 51 do Anexo D e observando o gráfico das médias, verifica-se que a maior parte dos pontos está dentro dos limites e por isso apesar da variação das amostras ser maior do que a variação do sistema de medição, a variabilidade introduzida pelo sistema de medição está acima do aceitável. Em termos de reprodutibilidade, para este estudo pode-se concluir que os operadores 1 e 2 apresentam semelhanças na medição. Já o operador 3 tem resultados bastante díspares.

Análise da Interação entre Operadores e Amostras

Relativamente à horizontalidade, Figura 49 do Anexo D, pode-se ver que as medições do operador 1 e do operador 2 têm apenas ligeiras diferenças, indicando consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 3 tem medições relativamente diferentes, ora com

valores abaixo, ora com valores acima, ora com valores iguais. Um padrão deste género poderá indicar alguma interação entre operador e amostra – possivelmente resultado de falta de treino/formação. Em relação à espessura de ombro, Figura 50 do Anexo D, pode-se verificar que as medições do operador 2 e do operador 3 se sobrepõem em alguns pontos, indicando uma ligeira consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 1 tem medições relativamente diferentes, estando abaixo das medições dos outros operadores em quase todos os pontos. Assim, não se sabe quem está a fazer as medições corretas visto que não existe um valor de referência para confirmar. Na espessura de fundo, Figura 51 do Anexo D, a análise é parecida mudando o comportamento dos operadores. De facto, é possível analisar que as medições do operador 1 e do operador 2 se sobrepõem, indicando consistência nas suas medições. Em contrapartida, o operador 3 tem medições maioritariamente acima das medições dos restantes operadores. Não se sabe quem está a medir corretamente visto que não existe um valor de referência para confirmar.

4.1.3 Análise Numérica dos Resultados

Como forma de complemento à análise gráfica elaborada previamente, realizou-se uma análise numérica com o intuito de retirar conclusões mais sólidas relativamente a todos os aparelhos de medição. Na Figura 26, é possível visualizar os resultados numéricos para o aparelho de verticalidade.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for Verticalidade

Gage name: Verticalidade
 Date of study: 11/03/2017
 Reported by: Roberto Oliveira
 Tolerance:
 Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,069600	18,32
Repeatability	0,064472	16,97
Reproducibility	0,005128	1,35
Part-To-Part	0,310227	81,68
Total Variation	0,379827	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,263818	1,58291	42,81
Repeatability	0,253914	1,52348	41,20
Reproducibility	0,071610	0,42966	11,62
Part-To-Part	0,556980	3,34188	90,37
Total Variation	0,616301	3,69780	100,00

Number of Distinct Categories = 2

Figura 26 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Verticalidade.

A tabela Gage R&R sumariza as fontes de variação do sistema de medição. Para comparar a variação entre o sistema de medição e a variação total, examina-se o desvio padrão, *study variation* e a *percentage study variation*. *Study variation* é uma estimativa da variabilidade das medições.

Analisando a *percentage study variation* para a primeira componente, Gage R&R, pode-se ver que a percentagem é igual a 42,81%. Esta componente representa toda a variação que ocorre devido ao sistema de medição. É obtida dividindo a *study variation* respetiva pela *study variation* total. Esta componente Gage R&R está subdividida em duas componentes: repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade constitui cerca de 41,20% do total de *study variation* enquanto a reprodutibilidade é responsável por 11,62%. A variabilidade entre as garrafas diferentes contribui com 90,37% enquanto que o sistema de medição contribui com 42,81%. Apesar da maior parte da variação depender das amostras e não do sistema de medição, a variação introduzida pelo sistema de medição é superior ao aceitável. De acordo com os *benchmarks* disponibilizados pela AIAG (*Automobile Industry Action Group*), um

erro superior a 30 % é inaceitável. Quanto ao número de categorias distintas, neste caso apresenta um valor de 2 isto é, existem dois grupos de dados do processo que este aparelho de medição consegue diferenciar – grupo alto e baixo, por exemplo. AIAG afirma que cinco ou mais categorias indicam que um sistema de medição é aceitável e por isso o recomendável.

Na Figura 27, é possível visualizar os resultados para o aparelho de horizontalidade.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for Horizontalidade

Gage name: Medidor Horizontalidade
 Date of study: 11/03/2017
 Reported by: Roberto Oliveira
 Tolerance:
 Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0054013	49,22
Repeatability	0,0034953	31,85
Reproducibility	0,0019060	17,37
Part-To-Part	0,0055734	50,78
Total Variation	0,0109747	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,073494	0,440961	70,15
Repeatability	0,059121	0,354727	56,43
Reproducibility	0,043658	0,261946	41,67
Part-To-Part	0,074655	0,447933	71,26
Total Variation	0,104760	0,628562	100,00

Number of Distinct Categories = 1

Figura 27 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Horizontalidade.

Analisando a *percentage study variation* para a primeira componente, Gage R&R, pode-se ver que a percentagem é igual a 70,15%. Esta componente representa toda a variação que ocorre devido ao sistema de medição. Esta componente Gage R&R está subdividida em duas componentes: repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade constitui cerca de 56,43% do total de *study variation* enquanto a reprodutibilidade é responsável por 41,67%. A variabilidade entre as garrafas diferentes contribui com 71,26%, ligeiramente superior à contribuição do sistema de medição. A variação introduzida pelo sistema de medição é superior ao aceitável. De acordo com os *benchmarks* disponibilizados pela AIAG, um erro superior a 30 % é inaceitável. Assim, um valor de 70,15% é bastante superior ao aceitável. Para além disso, o número de categorias distintas é igual a 1, o que não apresenta valor para o controlo desta característica.

Na Figura 28, podem-se observar os resultados para o aparelho de espessura de ombro.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for Espessura Ombro

Gage name: Espessura de Ombro
 Date of study: 11/03/2017
 Reported by: Roberto Oliveira
 Tolerance:
 Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0361492	69,43
Repeatability	0,0284391	54,62
Reproducibility	0,0077100	14,81
Part-To-Part	0,0159197	30,57
Total Variation	0,0520688	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,190129	1,14078	83,32
Repeatability	0,168639	1,01183	73,90
Reproducibility	0,087807	0,52684	38,48
Part-To-Part	0,126173	0,75704	55,29
Total Variation	0,228186	1,36912	100,00

Number of Distinct Categories = 1

Figura 28 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Espessura de Ombro.

Analisando a *percentage study variation* para a primeira componente, Gage R&R, pode-se ver que a percentagem é igual a 83,32%. Esta componente representa toda a variação que ocorre devido ao sistema de medição. Esta componente Gage R&R está subdividida em duas componentes: repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade constitui cerca de 73,90% do total de *study variation* enquanto a reprodutibilidade é responsável por 38,48%. A variabilidade entre as garrafas diferentes contribui com 55,29%, bastante inferior em comparação com a contribuição do sistema de medição. A variação introduzida pelo sistema de medição é superior ao aceitável. De acordo com os *benchmarks* disponibilizados pela AIAG, um erro superior a 30 % é inaceitável. Assim, um valor de 83,32% é bastante superior ao aceitável. Mais uma vez, o número de categorias distintas é bastante inferior ao aceitável.

Na Figura 29, podem-se observar os resultados para o aparelho de espessura de fundo.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for Espessura Fundo

Gage name: Espessura Fundo
Date of study: 11/03/2017
Reported by: Roberto Oliveira
Tolerance:
Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,168184	31,88
Repeatability	0,086570	16,41
Reproducibility	0,081614	15,47
Part-To-Part	0,359293	68,12
Total Variation	0,527477	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,410103	2,46062	56,47
Repeatability	0,294227	1,76536	40,51
Reproducibility	0,285682	1,71409	39,34
Part-To-Part	0,599410	3,59646	82,53
Total Variation	0,726276	4,35766	100,00

Number of Distinct Categories = 2

Figura 29 - Resultados Numéricos do MSA para o Aparelho de Espessura de Fundo.

Analisando a *percentage study variation* para a primeira componente, Gage R&R, pode-se ver que a percentagem é igual a 56,47%. Esta componente representa toda a variação que ocorre devido ao sistema de medição. Esta componente Gage R&R está subdividida em duas componentes: repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade constitui cerca de 40,51% do total de *study variation* enquanto a reprodutibilidade é responsável por 39,34%. A variabilidade entre as garrafas diferentes contribui com 82,53%, superior em comparação com a contribuição do sistema de medição. Contudo, a variação introduzida pelo sistema de medição é superior ao aceitável. De acordo com os *benchmarks* disponibilizados pela AIAG, um erro superior a 30 % é inaceitável. Assim, um valor de 56,47% é superior ao aceitável. O número de categorias distintas é de 2, abaixo do recomendado.

4.1.4 Análise Crítica ao Estudo do Sistema de Medição por variáveis

Aparelho de Medição de Verticalidade

Pode-se concluir que o medidor de verticalidade não é um aparelho de medição adequado. Visto que a falta de repetibilidade é grande quando comparada com a reprodutibilidade, deve-se realizar a manutenção do instrumento de medição da verticalidade eliminando possíveis folgas e melhorar o seu suporte ou fixação visto que não apresenta estabilidade.

Aparelho de Medição de Horizontalidade, Espessura de Ombro e Espessura de Fundo

Pode-se concluir que o medidor de horizontalidade, espessura de ombro e espessura de fundo não são aparelhos de medição adequados. Visto que a falta de repetibilidade é grande quando comparada com a reprodutibilidade, o indicado será realizar a manutenção dos instrumentos,

eliminando folgas existentes e melhorar os seus suportes/fixações. Contudo e visto que a reprodutibilidade também não é aceitável, formação será importante.

É de notar que a conclusão para estes aparelhos é igual embora tenham tido resultados diferentes uma vez que o critério da variação estar acima dos 30% foi o critério escolhido. Todos têm uma variação causada pelo sistema de medição acima dos 30%.

4.2 Proposta de Melhorias dos Equipamentos de Medição

Tal como referenciado previamente, todos os equipamentos de medição contribuem com variações acima do aceitável. O aparelho de medição de verticalidade e o aparelho de medição de espessura de fundo são os aparelhos que apesar de mal, contribuem com variações mais pequenas do que os equipamentos de horizontalidade e espessura de fundo. Deste modo e tendo em conta que o fator repetibilidade é superior ao fator de reprodutibilidade, a primeira medida foi verificar se existiam folgas existentes nos aparelhos e caso a resposta fosse afirmativa, eliminar as mesmas, visto que contribuem para baixa estabilidade dos equipamentos e consequentemente, maiores variações.

Nesta análise, o que se entendeu foi que o aparelho de espessura de fundo possuía folgas, pelo que a resolução do problema passaria muito pela eliminação dessas mesmas. Porém, a formação seria preponderante dado a componente de reprodutibilidade. Quanto aos outros aparelhos, percebeu-se que não existiam folgas grandes e o problema estaria mais na forma como as medições eram feitas e mais até na estabilidade da base do aparelho. Nestes últimos casos, a principal medida seria executar algumas modificações nos aparelhos de medição que contribuíssem para uma maior estabilidade.

4.2.1 Modelos Iniciais

Primeiramente, foram desenhadas algumas modificações nos aparelhos de medição de verticalidade, espessura de ombro e horizontalidade. O objetivo destas modificações era reduzir a variação provocada pelos aparelhos de medição, mais especificamente a componente de repetibilidade. Após o estudo das razões pelas quais a repetibilidade era alta, concluiu-se que o facto de os operadores terem que tocar na garrafa para a rodar manualmente 360° enquanto executam as medições, conduzia à elevada variação observada. Para além disso e tendo em conta a altura de algumas garrafas, a altura do apoio da base poderá não ser adequada. Posto isto, na Figura 30 são apresentados os primeiros desenhos dos aparelhos de medição. Para a realização destes desenhos foi utilizado o *software* SolidWorks.

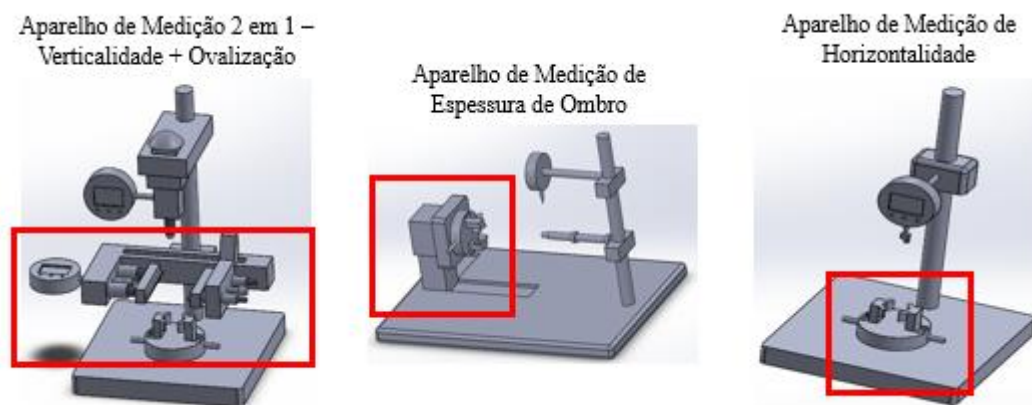


Figura 30 - Modelos Iniciais dos Equipamentos de Medição.

As principais diferenças entre estes novos modelos iniciais e os aparelhos de medição já existentes na fábrica encontram-se realçadas na Figura 30. Para eliminar a situação da rotação manual da garrafa e consequentemente a falta de estabilidade provocada pelo suporte dos aparelhos, a solução que foi encontrada foi a introdução em todos eles de um prato rotativo com fixadores de mola. Desta forma, em vez de rodar a garrafa diretamente, o prato rotativo é que seria rodado e a garrafa rodaria de forma mais estável e consistente.

Adicionalmente, pensou-se que se poderia juntar dois aparelhos de medição num único aparelho como está representado neste caso – aparelho de verticalidade e aparelho de ovalização num único aparelho ou ainda aparelho de horizontalidade e aparelho de ovalização. Optou-se por representar a primeira situação uma vez que a verticalidade é uma característica mais controlada e mais crítica do que a horizontalidade e por isso seria mais vantajoso o primeiro caso. Esta ideia será explorada num subcapítulo mais à frente.

4.2.2 Modelos Finais

Após apresentar estes modelos a um fornecedor, chegou-se à conclusão de que em vez de usar fixadores de mola, uma alternativa igualmente eficaz e mais barata seria usar fixadores em “L” de parafusos. Na Figura 31 são apresentados os modelos finais.

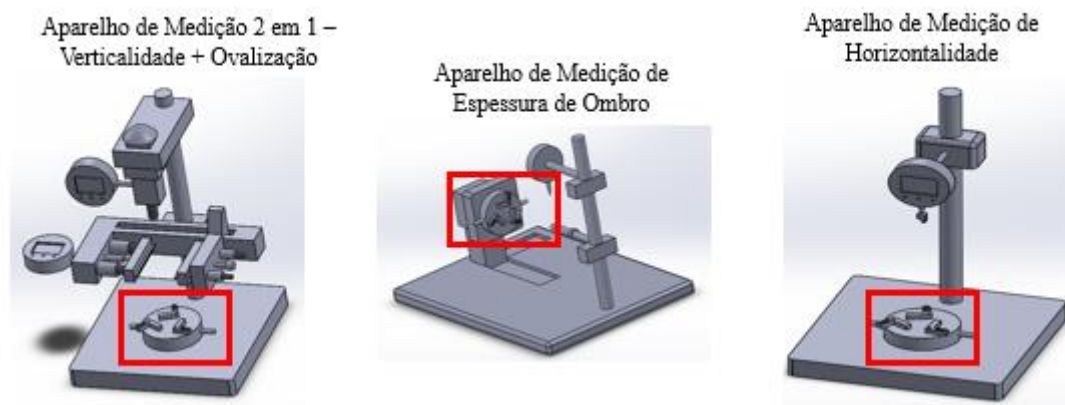


Figura 31 - Modelos Finais dos Equipamentos de Medição.

O funcionamento é o mesmo dos modelos anteriores, mas a fixação é feita de forma diferente. Esta fixação já é utilizada nos graminhos de verticalidade utilizados na fábrica.

4.2.3 Aparelho de Medição 2 em 1 - Verticalidade + Ovalização

A ideia do aparelho 2 em 1 surgiu visto que se reparou que dois aparelhos estavam separados e que haveria espaço para incluir os dois num único. Ora, com esta ideia e com o tempo de uma medição, realizam-se as medições de duas características dimensionais. Os únicos aparelhos em que isto era possível devido às restrições por espaço e por funcionamento eram o da verticalidade e o de horizontalidade, podendo incluir o de ovalização em qualquer um deles. Relativamente ao equipamento, este possuiria dois comparadores, um para cada característica e uma única estrutura comum. O aparelho de medição pode ser observado na Figura 31. Optou-se por incluir a ovalização no aparelho de verticalidade visto que esta última é uma característica mais crítica e portanto mais controlada na fábrica.

Na Figura 32 pode-se observar um gráfico de Pareto que exhibe quais as características que ocorrem com maior frequência e por isso mais críticas, isto para uma determinada referência no período de 21/10/2016 até 27/02/2017.

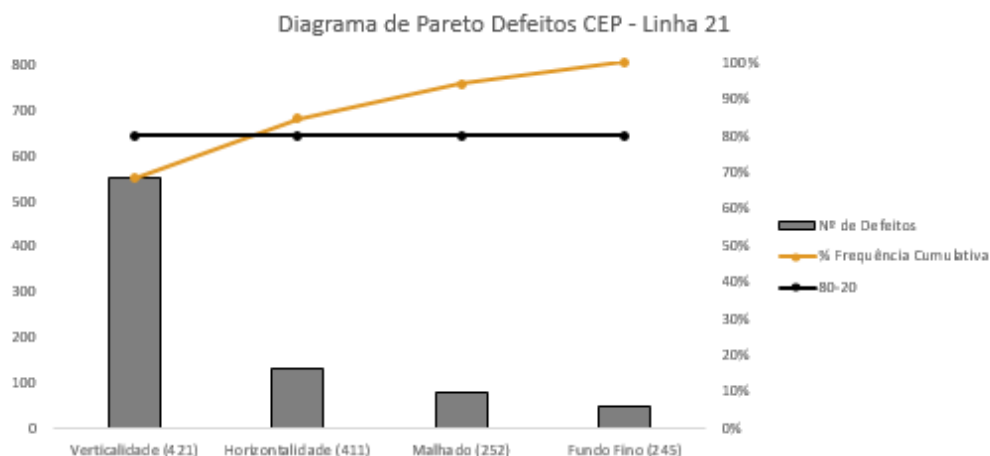


Figura 32 - Gráfico de Pareto para a Referência 4088 com Defeitos CEP.

Note-se que no gráfico de Pareto acima representado, o defeito malhado diz respeito à característica espessura de ombro e o defeito fundo fino é identificado pela característica espessura de fundo. Ovalização não está representada porque para esta referência não era uma característica considerada crítica, isto é, o cliente não era muito exigente no que diz respeito a esta característica. Analisando o mesmo gráfico conclui-se que a verticalidade é uma característica importante porque apenas ela constitui logo 68 % dos defeitos dimensionais no período em estudo. Juntando a verticalidade com a horizontalidade tem-se 84 % dos defeitos dimensionais para esta referência neste período. Note-se também que nesta linha 21, o formato das garrafas não difere muito pelo que a verticalidade será sempre uma característica crítica qualquer que seja a referência a produzir nesta linha.

4.2.4 Orçamento e breve Análise de Sensibilidade

Dada a importância da verticalidade na maior parte das referências produzidas na fábrica, optou-se por solicitar um orçamento para o aparelho 2 em 1 – verticalidade + ovalização. Este aparelho permitiria reduzir para metade o tempo de realização de medições das características verticalidade e ovalização e ao mesmo tempo, resolver o problema da variabilidade causada pelo aparelho de verticalidade.

Na Tabela 2 é apresentado o tempo poupado com este aparelho 2 em 1.

Tabela 2 - Comparação entre o Tempo Gasto em Medições com o Aparelho 2 em 1 vs Aparelhos separados.

Nº Garrafas medidas num dia - objetivo		120
Aparelhos Separados		
Tempo Medição Verticalidade (segundos)		8 (1 garrafa)
Tempo Medição Ovalização (segundos)		8 (1 garrafa)
Tempo Gasto em Medições num dia (segundos)		1920 (120 garrafas)
Tempo Gasto em Medições num dia (minutos)		32 (120 garrafas)
Aparelho 2 em 1		
Tempo de Medição Verticalidade + Ovalização (segundos)		8 (1 garrafa)
Tempo Gasto em Medições num dia (segundos)		960 (120 garrafas)
Tempo Gasto em Medições num dia (minutos)		16 (120 garrafas)

Para estes cálculos e tendo em conta apenas uma linha de produção, observou-se que caso as medições previstas por dia fossem todas realizadas e tendo em conta o tempo que cada medição ocupa, o tempo poupado por dia por cada linha é de 16 minutos.

Num mês são poupadas 8 horas e num ano, 96 horas (Tabela 3). Cada minuto significa mais tempo que o condutor tem para estar atento à estabilidade da máquina, mudanças programadas, lubrificação, inspeções de zona quente e outras atividades presentes na carta de trabalho.

Tabela 3 - Poupança de Tempo com o Aparelho 2 em 1.

	Segundos	Minutos	Horas
Poupança de tempo num Dia	960	16	0,27
Poupança de tempo num Mês	28800	480	8
Poupança de tempo num Ano	345600	5760	96

Como é apresentado na Tabela 4, o custo de seis aparelhos 2 em 1 novos é de 16 356,54 € com IVA incluído. O custo individual é de 2726,09 €, incluindo IVA.

Tabela 4 - Custo de um Aparelho Novo 2 em 1.

Custo de 6 aparelhos 2 em 1 novos com IVA	16 356,54 €
Custo de 1 aparelho 2 em 1 novo com IVA	2 726,09 €

Visto que é difícil contabilizar o benefício em euros com cada hora poupada, realizou-se uma análise de sensibilidade invertida, isto é, para os vários períodos de amortização, calculou-se qual o preço que a Empresa estaria disposta a pagar por cada hora poupada. Na Tabela 5 são apresentadas as conclusões com os preços a pagar para amortizar o investimento num ano, em dois anos e três anos.

Tabela 5 - Preço a Pagar por cada Hora Poupada Tendo em Conta o Período de Amortização.

Amortização	Preço 1 Hora Poupada
1 Ano	28,40 €
2 Anos	14,20 €
3 Anos	9,47 €

4.2.5 Stock de Comparadores e Estruturas

No capítulo anterior foi apresentado o número de estruturas/bases dos aparelhos de medição existentes em linha e em *stock*. O mesmo aconteceu com os comparadores. Visto que a probabilidade dos comparadores se estragarem é muito maior do que a probabilidade de uma estrutura se estragar, sugere-se ter não só um comparador em *stock* mas sim três. Quanto às estruturas e dado a característica verticalidade ser uma característica medida em todas as referências, deveria existir uma estrutura/base para esta característica em *stock*.

4.3 Análise de Dados Históricos

Com o propósito de analisar como o controlo estatístico do processo estava a ser realizado pelos operadores, executou-se uma análise de dados num determinado período de tempo e na linha piloto – linha 21.

A referência em estudo é a 4283C190 e a característica estudada foi a verticalidade – uma das características mais importantes e críticas, como visto em cima na Figura 32.

Tendo em conta o plano de controlo definido na fábrica, isto é, recolha de cinco garrafas a cada sessenta minutos, procedeu-se à comparação do número de medições efetuadas por turno com o objetivo de analisar o seu cumprimento.

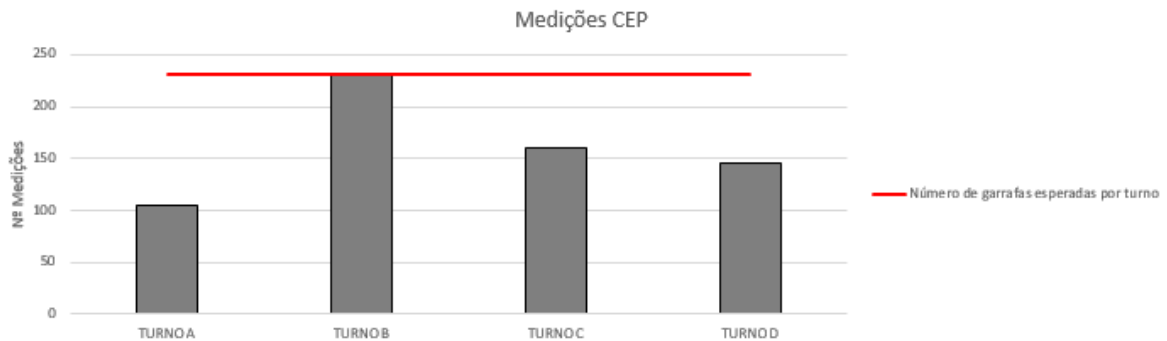


Figura 33 - Número de Medições por Turno durante um Período de Tempo.

Pela observação do gráfico representado na Figura 33, pode-se concluir que tendo em conta o número de garrafas que devem ser recolhidas e a sua frequência, o objetivo para o período de tempo em estudo era de 231 garrafas por turno. Ora, apenas o turno B cumpriu o número de medições esperadas. Em contrapartida, o turno A, C e D completaram entre 100 e 160 medições.

Contudo, não é interessante cumprir o número de medições previsto sem cumprir a frequência. Na verdade, se um turno mede cinco garrafas às 10h00m e mede igualmente às 10h10m, em dez minutos regista de imediato 2 subgrupos. Note-se que um subgrupo é constituído pelas cinco garrafas para controlo. Na Figura 34, é apresentado um *boxplot* por cada turno e é feita uma comparação de intervalos de tempo entre medições.

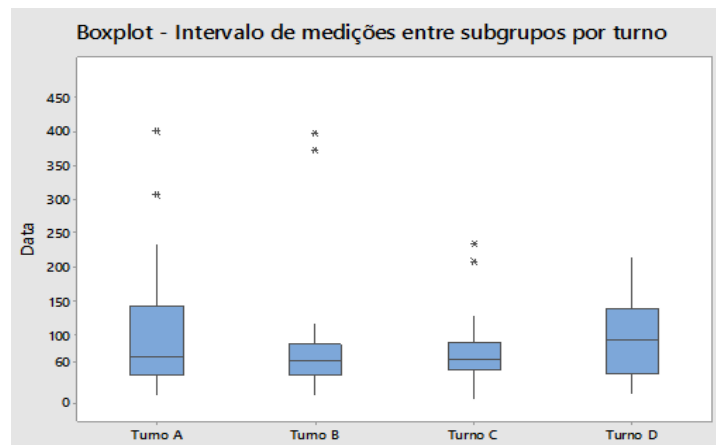


Figura 34 - *Boxplots* Referentes ao Intervalo de Tempo entre Medições de Subgrupos por Turno.

Verifica-se que o turno B é aquele que tem uma menor variação relativamente aos intervalos de tempo entre medições. A mediana dos turnos A, B e C estão próximas do objetivo – 60 minutos. A mediana do turno D já está um pouco acima. Existem *outliers* nos turnos A, B e C. No Anexo E é possível visualizar por turno, os gráficos que apresentam o intervalo de tempo entre medições de subgrupos.

Na Figura 35, observa-se um gráfico de amplitudes para o período em estudo, para a referência em produção na linha 21 durante esse período e para uma característica dimensional – verticalidade. Olhando para o gráfico, pode-se verificar que não existem pontos fora do controlo, o que significa que dentro de cada subgrupo, as cavidades avaliadas apresentam valores de verticalidades não muito diferentes entre si. Note-se que cada subgrupo é constituído por cinco garrafas de cavidades diferentes e até possivelmente de secções

diferentes. Note-se também que a máquina presente nesta linha é composta por 12 secções, cada uma destas secções por 3 cavidades.

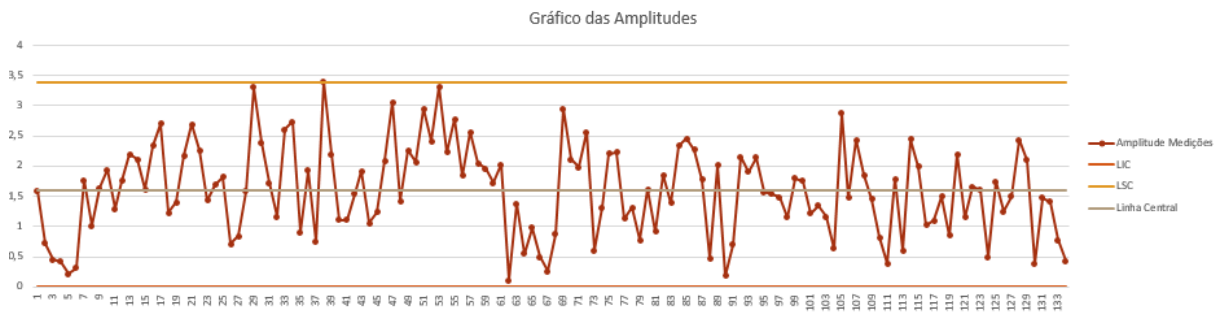


Figura 35 - Gráfico das Amplitudes.

Visto que não existem pontos fora do controlo no gráfico das amplitudes, é possível analisar o gráfico das médias dado os seus limites de controlo serem válidos. Na Figura 36, observa-se o gráfico de médias respetivo.

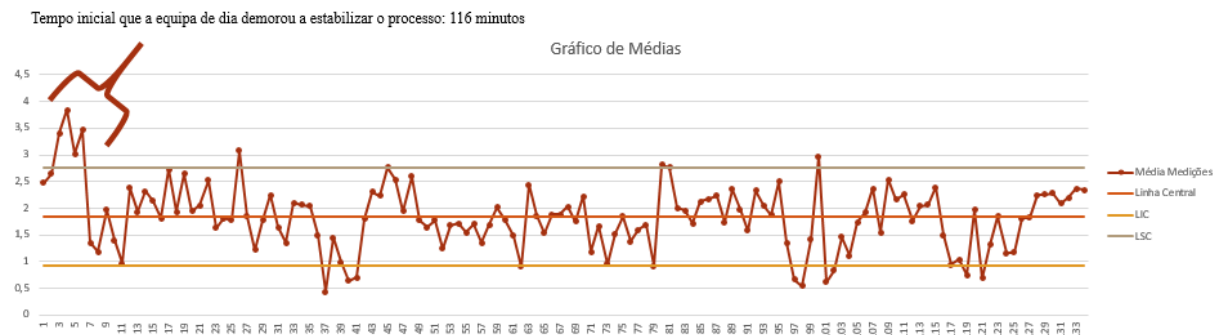


Figura 36 - Gráfico das Médias.

Analisando o gráfico das médias, verifica-se que no arranque da nova referência, a equipa do dia demorou cerca de 116 minutos a estabilizar o processo. Ao longo do período em estudo, verifica-se que existem 7 pontos acima do limite superior do controlo, sendo 4 deles no arranque – situação perfeitamente normal. As causas especiais destas verticalidades acima do limite de controlo são por exemplo, tempo de sopro insuficiente, falta de pressão no sopro final, falta de ventilação na placa morta e ventilação do molde inadequada. Caso sejam constantes as verticalidades fora de controlo, a causa especial pode ser a elevada cadência da máquina. Neste caso, os pontos acima são esporádicos. Quanto às verticalidades abaixo do limite inferior de controlo, é necessário perceber que a verticalidade não tem um limite mínimo de especificação, pelo que quanto menor a verticalidade melhor. No entanto e visto que limites de controlo são diferentes de limites de especificação, as causas para estes acontecimentos devem-se ao facto das medições não terem sido corretamente efetuadas ou os aparelhos não estarem a funcionar bem ou os limites de controlo poderem estar desatualizados, situação esta que se verifica quando há uma constância de pontos seguidos abaixo do limite de controlo. Um exemplo da desatualização dos limites de controlo é quando a cadência da máquina é alterada. Caso haja uma alteração do comportamento da máquina, os limites têm de ser atualizados porque senão vai haver indicação de situação de descontrolo quando na verdade os limites se moveram para baixo.

4.4 Plano de Controlo

No CEP é importante definir um plano de controlo, onde esteja especificado a frequência da amostra, tamanho da amostra e a forma como deve ser feita esta amostragem.

Tamanho da Amostra

Apesar da fábrica possuir onze linhas de produção diferentes, o tamanho da amostra é igual em todas. Já estava implementado retirar cinco garrafas por subgrupo o que não é mau tendo em conta o acréscimo de trabalho que os operadores teriam. Para além disso, já há dificuldade que eles cumpram totalmente os objetivos pelo que não se quis acrescer o volume de trabalho. Note-se que quanto maior for o tamanho da amostra, maior será a facilidade com que se deteta a presença de causas especiais.

Frequência da Amostragem

Mais uma vez e tendo em conta as cartas de trabalho, conclui-se que aumentar a frequência de amostragem não era uma boa solução. Os operadores têm algumas atividades importantes de inspeção, lubrificação e realização de paragens programadas pelo que reduzir os sessenta minutos de frequência não era boa ideia. De facto, após uma mudança de comportamento da máquina como por exemplo, um aumento de cadência, o aparecimento de uma causa especial pode demorar entre 30 minutos a 1 hora. A frequência de sessenta minutos será um plano relativamente adequado para detetar alterações. Contudo isto é muito subjetivo e até podem não aparecer defeitos. O ideal neste caso até seria 30 em 30 minutos realizar medições CEP mas se os operadores já têm dificuldades em cumprir com o estipulado, seria demasiado ambicioso alterar ou alterar de uma forma tão abrupta.

Realização da Amostragem

Ao realizar a análise de dados históricos anterior foi possível perceber que a forma como os operadores selecionam as garrafas varia. Uns retiram aleatoriamente e outros retiram sequencialmente pelas cavidades e secções. Na Figura 37 está representada uma máquina IS com doze secções e em que cada secção tem três cavidades e em que cada cavidade é responsável pela moldação de uma garrafa.

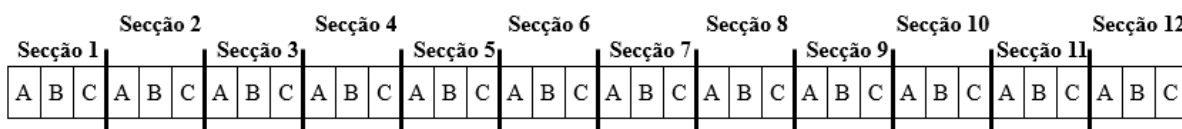


Figura 37 - Representação de uma Máquina IS.

Atualmente acontece que existem poucos operadores que retiram as garrafas aleatoriamente. A maioria deles retira na primeira hora por exemplo: 1A, 1B, 1C, 2A e 2B. Na segunda hora já retiram a sequência seguinte: 2C, 3A, 3B, 3C e 4A e assim sucessivamente. Isto tem problemas na medida em que pode existir muita variabilidade entre secções e cavidades. Assim podem juntar num subgrupo garrafas de 3 secções distintas da máquina. Por outro lado, tem uma ordem fixa e fácil de lembrar, o que eles valorizam. Portanto, um problema é existirem operadores que realizam esta recolha de formas diferentes. Não existe uma forma estandardizada.

Depois de analisar e pensar no assunto, chegou-se a outras alternativas e opções cada uma com as suas vantagens e desvantagens. Retirando as garrafas aleatoriamente (1ª Opção), consegue-se ter uma visão da máquina toda e a variabilidade que poderá existir entre diferentes secções e cavidades é reduzida realizando uma análise de distribuição de frequências. Em contrapartida, perde-se detalhe e os operadores a não terem uma ordem fixa e definida podem-se sentir tentados a retirar garrafas que julgam estar bem para não ter tanto trabalho. 2ª Opção pode ser retirar seis garrafas de um setor, duas de cada cavidade. Na primeira retiram por exemplo, 1A, 1A, 1B, 1B, 1C e 1C. Na hora seguinte retiram 2A, 2A, 2B, 2B, 2C e 2C. Com esta opção reduz-se a variabilidade existente entre secções dentro de cada subgrupo. Aumenta o detalhe, diminui a representatividade da máquina IS, é fácil de realizar mas leva algum tempo a ter uma visão total da máquina. A 3ª Opção pode ser retirar

seis garrafas de seções diferentes numa primeira hora e na hora seguintes outras seis seções. Por exemplo, na primeira hora retiram 1A, 3B, 5A, 7C, 9B e 11A e na segunda hora retiram 2B, 4B, 6C, 8C, 10A e 12C. As cavidades são retiradas aleatoriamente enquanto que as seções não. Aqui consegue-se ter pouco detalhe e em contrapartida uma elevada representatividade da máquina.

Dependendo do objetivo, existem opções melhores do que outras. Se o objetivo é ter uma noção do estado geral da máquina, a 1ª opção e a 3ª opção são melhores. Se o objetivo é verificar diferenças entre cavidades, a 2ª opção já é melhor. Visto que verificar diferenças entre cavidades é o objetivo do ADF, com o controlo estatístico do processo pretende-se ter uma noção mais geral do comportamento da máquina, de modo que a 1ª opção será vantajosa porque o tamanho da amostragem mantém e porque se consegue ter elevada representatividade da máquina.

4.5 Formação de Gestores de Turno, Condutores de Máquina e Afinadores

Com o objetivo de alterar o comportamento de alguns condutores de máquina, afinadores e gestores de turno, foram realizadas diversas formações sobre controlo estatístico do processo. Estas formações tinham como objetivo primordial explicar a importância do CEP e qual o seu impacto na organização. Abordavam por isso a definição simples de CEP, conceitos de média e amplitude, gráficos de controlo, índices de capacidade e exemplos práticos de gráficos de controlo e respetivos planos de reação.

Relativamente aos condutores de máquina e afinadores, foi explicado que o CEP é uma ferramenta que acrescenta valor à empresa. Quando bem utilizado, o CEP informa instantaneamente os operadores de situações fora de controlo, permitindo uma imediata reação à mudança do processo. Não deve ser vista apenas com uma ferramenta de recolha de dados. Realçou-se também a importância da não existência de uma prioridade da produção sobre a qualidade. É importante ter em conta o longo prazo e não só o curto prazo. Por vezes, é preferível dizer ao cliente que não se conseguiu satisfazer a encomenda porque os produtos não eram de qualidade do que satisfazer a encomenda com produtos de baixa qualidade. No segundo caso, o risco poderia ser perder o cliente enquanto no primeiro caso se poderia ganhar a lealdade do cliente. Note-se que varia de cliente para cliente e que não deve haver nenhuma prioridade em específico. Deve-se tentar satisfazer tanto a produção como a qualidade o melhor possível.

Em relação aos gestores de turno e mesmo chefes de divisão de fabricação (área onde é efetuada o CEP), o objetivo foi envolvê-los mais no controlo estatístico do processo. As medidas para envolver mais os gestores de turno foram: nas reuniões de mudança de turno que ocorrem uma hora mais cedo da entrada do novo turno, um dos pontos a discutir eram dados do CEP de todas as linhas. Isto incentiva os gestores de turno a ir de linha em linha e analisar os dados CEP do seu turno. Indicações como os índices de capacidade, situações fora do controlo e tendências seriam, portanto, abordadas nas reuniões. Anteriormente, os gestores de turno não tinham conhecimento de como estava o controlo estatístico do processo no seu turno, derivado também de ser difícil analisar os dados do *software* de todas as linhas – situação que foi melhorada e que será explicada no subcapítulo seguinte – Ferramenta de Visualização.

Um problema encontrado nas formações foi a assiduidade dos formandos. Alguns operadores faltaram às formações visto que foi um período fora do horário de trabalho. Na Tabela 6 é observado o número de pessoas existentes em cada formação.

Tabela 6 - Assiduidade nas Formações por Turno.

Nº de Presenças	
Turno A	13
Turno B	11
Turno C	12
Turno D	10

A principal dificuldade nas formações foi motivar os formandos, questão que tentou ser resolvida com uma apresentação interativa, dinâmica, simples e rápida. Todas as formações foram avaliadas pelos formandos pelo que seguem os resultados obtidos para alguns dos critérios (Tabela 7).

Tabela 7 - Avaliação por parte dos Formandos por Turno.

Em relação ao Formador (1 - 5)	Turno			
	A	B	C	D
1 - Dominou os assuntos	4,69	3,91	4,42	4,3
2 - Conseguiu motivar os formandos	4,38	3,81	4,42	4,2
3- Utilizou meios e técnicas adequadas	4,31	3,45	4,42	4,4
4 - Foi correto no tratamento com os formandos	4,69	4,45	4,83	4,4
Em relação à Ação (1-5)	A	B	C	D
5 - A formação teve a duração e carga horária ideal	4,15	3,09	4,17	3,7
6 - Os conteúdos estavam adequados aos objetivos da formação	4,38	3,36	4,5	4
7 - Os temas abordados têm utilidade prática	4,46	4	4,75	4,2
8 - Compreendi os conteúdos abordados	4,77	4	4,75	4,5
Esta formação contribuiu para o seu desenvolvimento profissional? (1 - 10)	8,92	7,64	8,67	8,6
Recomendaria esta formação a um colega?	9,08	7,45	9,08	8,6

Pela observação da Tabela 7, pode-se verificar que de uma forma geral, esta formação contribuiu para o desenvolvimento profissional dos formandos e que perceberam relativamente bem os conceitos, procedimentos e importância do controlo estatístico do processo na sua Organização.

4.6 Ferramenta de Visualização

Como forma de envolver mais os gestores de turno para o controlo estatístico do processo e para facilitar a análise por turno, procedeu-se ao desenvolvimento de uma ferramenta de visualização. Esta ferramenta consiste num sumário de indicadores importantes do controlo estatístico do processo sendo que assim, os gestores de turno de uma forma rápida conseguem perceber se o seu turno está a cumprir com os procedimentos e também como é que está a situação da linha relativamente a pontos fora do controlo e índices de capacidade do turno. Esta ferramenta extrai os dados do *software* VSPC e tendo estes dados na folha de excel, um sumário de indicadores é apresentado. Em primeiro lugar, realizou-se uma *mockup* desta ferramenta (Anexo F).

Tendo concluído a *mockup*, procedeu-se à execução da ferramenta de visualização em excel. À medida que se foi realizando e falando com outras pessoas, surgiram novas ideias e a

ferramenta final foi sendo melhorada. Esta ferramenta irá ser apresentada por partes para ser mais simples a sua explicação. A primeira parte tem como objetivo o gestor de turno garantir que o seu turno está a cumprir o plano de controlo, nomeadamente, número de medições e tempo entre medições (Figura 38).

L21		TURNO		C	Verticalidade Horizontalidade EspOmbroMin EspFundoMin Ovalização
25/06/2017 14:50					
		Objetivo Turno			
Nº de Medições	25	40			
Hora da última medição	13:30:00				
Hora da próxima medição	14:30:00				
				Objetivo Turno	
Intervalo de tempo médio entre medições (minutos)		53,86		60	

Execute as medições CEP!

Figura 38 - Parte 1 da Ferramenta de Visualização.

Como é possível visualizar, é apresentada a linha de produção em questão, data do preciso momento, o turno que está no preciso momento e um filtro para seleccionar qual a característica que pretende ser analisada. Para além disso, é apresentado o número de medições contrastando com o número de medições objetivo do turno. É também apresentado a hora à qual foi realizada a última medição e a hora à qual deve ocorrer a próxima medição. Por último, é possível visualizar o intervalo de tempo médio entre medições em minutos contrastando com o objetivo do turno.

A segunda e última parte consiste nas situações fora do controlo. Esta parte tem como objetivo apresentar de forma rápida quantos subgrupos estão fora dos limites de controlo tanto no gráfico das médias como no gráfico das amplitudes e associados a estes subgrupos, quais as cavidades, moldes, hora da medição e valor da medição (Figura 39).

Atualiza os dados extraídos do VSPC ← **Atualizar**

Subgrupo = 5 Garrafas

Subgrupos fora do controlo no Gráfico das Médias (Xbar)

Cavidades e Moldes Associados			
Cavidade	Molde	Medição	Hora
5B	77	2,531	10:20:14
5C	78	1,087	10:20:14
6A	79	2,4	10:20:14
6B	80	2,731	10:20:14
6C	81	2,322	10:20:14
10B	92	2,445	11:45:54
10C	93	2,934	11:45:54
11A	94	3,125	11:45:54
11B	95	2,204	11:45:54
11C	96	2,392	11:45:54

Índices de Capacidade

Cpk Turno	0,77
Ppk Turno	0,72

Subgrupos fora do controlo no Gráfico das Amplitudes (Range)

Cavidades e Moldes associados			
Cavidade	Molde	Medição	Hora
8C	87	0,511	13:30:00
9A	88	0,53	13:30:00
9B	89	2,422	13:30:00
9C	90	1,399	13:30:00
10A	91	1,326	13:30:00

Figura 39 - Parte 2 da Ferramenta de Visualização.

Observando a *mockup* realizada, verifica-se que existem ligeiras diferenças resultantes de sugestões e melhorias da mesma. As diferenças residem na adição do valor da medição e da hora de medição às cavidades e moldes associados fora do controlo. No Anexo G é apresentada a ferramenta de visualização final.

4.7 Folha de Registo e Controlo de Turno

Com o propósito de ter um registo das atividades efetuadas relacionadas com o controlo estatístico do processo e como forma dos operadores sentirem mais controlo e mais responsabilidade, foi realizada uma folha de registo no excel (Figura 40).

BA AV		LINHA 21		Guardar				
Começa a preencher a partir do Nome e Apelido								
Dia	Hora	Nome e Apelido	Turno	Cumpriu os tempos de medição? (60 minutos)	Se respondeu NÃO, porquê?	Cumpriu o número de medições? (40 Garrafas)	Se respondeu NÃO, porquê?	Foi honesto nas medições?
05/06/2017	12:23:37	Roberto Oliveira	C	SIM		SIM		SIM
05/06/2017	12:24:20	João Melo	A	NÃO	Encravamentos	NÃO	Falta de tempo	NÃO
05/06/2017	12:25:29	Andreia Guedes	B	NÃO	Distracção	SIM		SIM
		A						
		B						
		C						
		D						

Figura 40 - Folha de Registo e Controlo de Turno.

O objetivo é no final do turno o operador de cada linha registar o seu nome e apelido, dizer qual o turno (*drop-down list*), declarar se cumpriu tanto os tempos de medição como o número de medições e caso a resposta seja negativa, explicar as razões pela qual não houve cumprimento. A última pergunta refere-se à honestidade nas medições e depois existe um botão “Guardar”. Não é possível alterar linhas acima pelo que não existe o perigo de perda ou alteração de informação de outros operadores (Figura 41).

BA AV		LINHA 21		Guardar				
Começa a preencher a partir do Nome e Apelido								
Dia	Hora	Nome e Apelido	Turno	Cumpriu os tempos de medição? (60 minutos)	Se respondeu NÃO, porquê?	Cumpriu o número de medições? (40 Garrafas)	Se respondeu NÃO, porquê?	Foi honesto nas medições?
05/06/2017	12:23:37	Roberto Oliveira	C					SIM
05/06/2017	12:24:20	João Melo	A					NÃO
05/06/2017	12:25:29	Andreia Guedes	B					SIM

Figura 41 - Segurança relativa à Modificação de Informação já Registrada.

É uma ferramenta simples que irá permitir um controlo mais apertado acerca do cumprimento ou falta dele e quais as razões no último caso.

4.8 Comparação entre Situação Passada e Atual

Para além das formações, das tentativas de aumento do envolvimento dos chefes de divisão e gestores de turno e do acompanhamento diário dos operadores, uma forma de corrigir tanto o intervalo de tempo como garantir o cumprimento do número de medições, foi colocar uma mensagem com alarme no computador presente na bancada da zona quente onde o operador realiza as medições, vê as mudanças programadas, analisa os defeitos temporalmente e ainda observa a eficiência e o rendimento das máquinas. Esta mensagem aparece de 60 em 60 minutos, frequência definida no plano de controlo estatístico do processo da Fábrica. Uma mensagem típica pode ser vista na Figura 42.

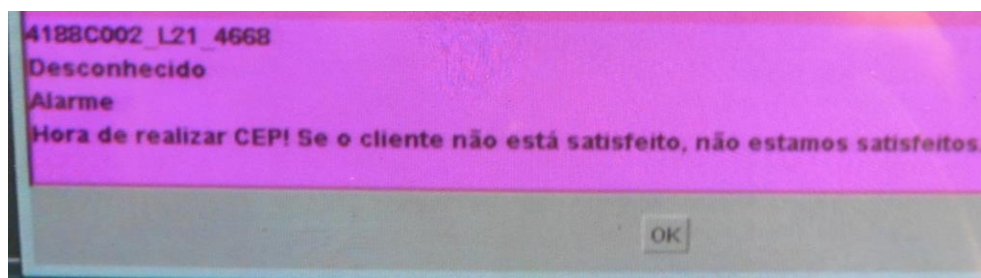


Figura 42 - Mensagem de Alarme.

Após a colocação desta mensagem e com o propósito de ver o impacto que esta estava a ter na redução do intervalo de tempo entre medições, analisou-se o gráfico presente na Figura 43.

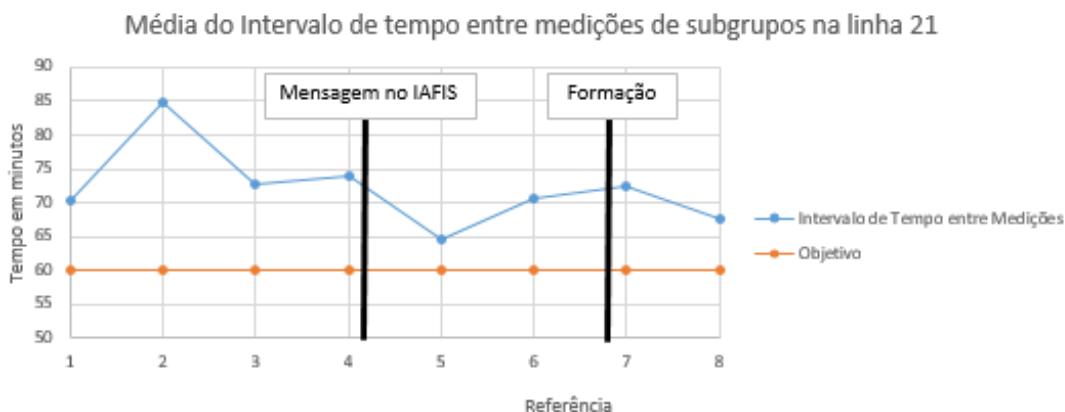


Figura 43 - Impacto da Mensagem no Tempo entre Medições.

No eixo horizontal está representada a referência porque os períodos de tempo em que uma determinada referência está em linha são diferentes uns dos outros. No entanto, está implícito que esta análise é uma análise temporal visto que cada referência corresponde a um determinado período de tempo. Pela análise do gráfico, é possível verificar que houve uma descida a partir do momento que o alarme foi implementado (Referência 5). No entanto, na referência seguinte ou seja, no período de tempo seguinte, a média do intervalo de tempo começou a subir novamente. Contudo, note-se que os tempos têm estado mais baixos acabando na referência 8 com uma nova diminuição de tempos. Uma análise mais detalhada foi feita para comparar os diferentes turnos (Figura 44).

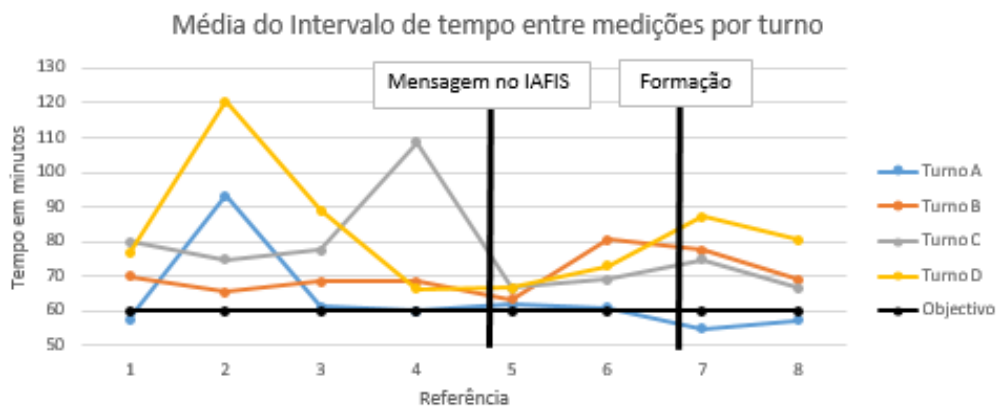


Figura 44 - Impacto da Mensagem no Tempo entre Medições por Turno.

Pode-se verificar que o turno A tem-se mantido perto do objetivo ao longo de todas as referências, o turno B esteve com uma tendência de subida depois de ter cumprido o objetivo logo após a introdução desta mensagem e chega à última referência com uma diferença de dez minutos para o objetivo, o turno C teve uma descida bastante considerável e o turno D tem-se mantido muito acima do objetivo.

Analise-se agora o cumprimento do número de medições para as mesmas referências e para os mesmos períodos de tempo. Na Figura 45 é possível observar o impacto que a mensagem de alarme obteve neste indicador.

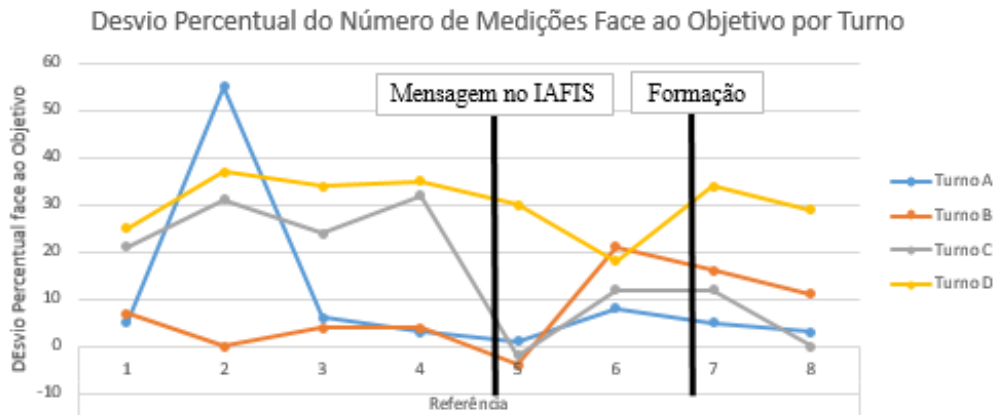


Figura 45 – Impacto da Mensagem no Número de Medições Realizadas por Turno.

Verifica-se que o Turno D foi quase sempre o menos cumpridor relativamente ao número de medições. Antes da mensagem, o Turno A e o Turno B foram os mais cumpridores, estando perto do objetivo exceto na referência número 2 para o Turno A. Mal a mensagem foi colocada, o Turno A, B e C estiveram dentro do objetivo. Para as restantes referências, o Turno A e C estão sempre muito próximos do objetivo, mas de uma forma geral, conseguiu-se que os turnos A, B e C estivessem relativamente perto dos objetivos. Em contrapartida, o turno D mais uma vez, está muito longe do objetivo.

Em relação ao impacto das formações, do acompanhamento diário, do envolvimento dos gestores de turno e chefes de divisão, não se conseguem tirar conclusões pelo carácter subjetivo associado e devido às formações terem sido feitas há relativamente pouco tempo. Note-se também que os operadores até podem cumprir o plano de controlo, respeitando os tempos e o número de medições, mas a qualidade dos dados recolhidos pode estar aquém do esperado. Esta baixa qualidade dos dados recolhidos pode-se dever a dois fatores: equipamento e operador. O equipamento de medição não sendo preciso e exato conduz a resultados pouco fiáveis. Adicionalmente, o operador pode estar distraído, pode ser recente na Empresa e não saber utilizar um equipamento de medição e pode também falsear os dados, situação que pode não ser controlável.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Este capítulo apresenta as principais conclusões que foram retiradas ao desenvolver este projeto. As recomendações de trabalho futuro serão também realçadas.

Atualmente, as empresas vidreiras estão cada vez mais sujeitas à pressão de produzir grandes quantidades e ao mesmo tempo, respeitar as exigências dos clientes em termos de qualidade.

O projeto teve três desafios: alterar o comportamento dos operadores e envolver os seus chefes, estudar o sistema de medição e apresentar propostas de melhoria caso necessário e um último dependente dos desafios anteriores: tornar o controlo estatístico mais robusto, reduzindo a variabilidade e aumentando a estabilidade de um processo.

Relativamente aos aparelhos de medição, é possível concluir que nenhum dos equipamentos de medição estudados é considerado aceitável. A maioria deles apresentou variações elevadas ao nível da repetibilidade e até mesmo reprodutibilidade. Tentou-se eliminar o fator repetibilidade ao reduzir folgas existentes e apresentaram-se modelos novos para os aparelhos com o propósito de aumentar a estabilidade e reduzir a variação. Quanto à reprodutibilidade, foi realizada uma ação de formação com o propósito de chamar a atenção para boas práticas na medição.

Em relação ao comportamento dos operadores e ao envolvimento dos gestores de turno, conclui-se que se os chefes não estiverem empenhados no controlo estatístico do processo e não controlarem o seu turno, os operadores também não irão estar interessados, conduzindo ao insucesso do controlo estatístico do processo. Assim, é fulcral haver um envolvimento dos gestores de turno, chefes de divisão e até cargos de gestão superiores. Para promover este envolvimento, definiram-se algumas medidas e desenvolveu-se uma ferramenta de apoio ao *software* utilizado para o controlo estatístico. Adicionalmente, foi providenciada uma formação por cada turno que possibilitou demonstrar a importância do mesmo e o seu impacto na organização. Note-se que o acompanhamento diário foi de extrema importância.

Em relação ao plano de controlo propriamente dito, foi essencial primeiro analisar dados históricos para saber como é que os operadores estavam a proceder e se estavam a cumprir ou não. Chegou-se à conclusão que o cumprimento das suas tarefas estava aquém do esperado mas que poucas pessoas inspecionavam isto e por isso, os operadores não sentiam necessidade de mudar. Com a formação providenciada, o acompanhamento diário em ambiente fabril e com uma mensagem de alarme a aparecer no computador de hora em hora (frequência estabelecida no plano de controlo), esperava-se que os resultados melhorassem. Na verdade, na primeira semana depois de incluir a mensagem de alarme, o cumprimento foi satisfatório tendo sido registadas ligeiras melhorias ao longo do tempo.

Os resultados obtidos com este projeto são difíceis de medir. Poderá se dizer que operadores perceberam a importância do controlo estatístico mas talvez ainda uma pequena parte se mostre resistente com a sua utilização. Porém, os resultados da sua avaliação sobre a formação foram bastante positivos. Quanto ao envolvimento dos gestores de turno e chefes de divisão, podem-se verificar algumas melhorias mas alguns deles apresentam-se ainda um pouco reticentes, principalmente devido à falta de fiabilidade dos aparelhos de medição.

Quanto às propostas de alteração dos aparelhos de medição desenvolvidas no projeto, estas encontram-se em fase de estudo. A ideia do aparelho 2 em 1 foi muito bem recebida, tendo sido pedido um orçamento para o mesmo. Relativamente à ferramenta de visualização complementar ao VSPC, esta não ficou totalmente terminada uma vez que falta automatizar a extração dos dados do VSPC em tempo real. A ferramenta funciona e poderá ser muito útil mas apenas funciona extraindo os dados manualmente. A equipa de tecnologias de informação da BA Vidro ficou com a tarefa de automatizar visto que o *software* utilizado, VSPC é bastante antigo.

Não é difícil compreender que o sucesso do controlo estatístico do processo está muito dependente de dois fatores: envolvimento das chefias que responsabilizem e motivem os colaboradores para o controlo do processo e equipamento de medição adequado. Depois do equipamento de medição estar adequado e ser considerado aceitável de acordo com as normas, um possível caminho poderia passar por ter uma pessoa responsável pelas medições em todas as linhas. Esta pessoa trabalharia juntamente com os gestores de turno e os chefes de divisão e realizaria ela própria a análise do processo em tempo real. Acredita-se ainda que a aplicação correta das medidas e das soluções apresentadas oriente a organização para o caminho a seguir, auxiliando a mesma no atingimento de níveis de qualidade mais elevados.

5.1 Trabalhos Futuros

Num futuro mais próximo, o trabalho deverá passar por automatizar a ferramenta complementar de análise do controlo estatístico do processo desenvolvida ao longo do projeto. Quando se diz automatizar, refere-se apenas à extração automática dos dados do programa VSPC para o excel em tempo real. Com isto a funcionar no seu esplendor, o envolvimento dos gestores de turno e chefes de divisão iria ser mais fácil e rápido. Esta ferramenta deverá ser incluída em todas as linhas de produção, o que é simples visto que todas elas têm um computador. Para além disso, o sistema de medição é crítico porque é a base para uma análise de dados correta e uma adequada tomada de decisão. Assim, a implementação dos equipamentos desenhados ao longo do projeto seria uma boa decisão. Outra opção para curto prazo seria desmontar os equipamentos todos e eliminar todas as folgas existentes e afinar possíveis partes dos aparelhos. Outro trabalho para um futuro mais próximo deveria ser pensar em personalizar planos de controlo para as diferentes linhas de produção visto que as máquinas são diferentes, possuem diferentes velocidades e o aparecimento de causas especiais pode levar menos tempo em determinadas referências.

Num futuro mais distante, deverá se pensar em atualizar o *software* atualmente utilizado para a realização do controlo estatístico do processo. O corrente é de 1997 e talvez não seja muito intuitivo. Atualmente, existem *softwares* com uma interface mais interativa e que permitem uma recolha de informação mais personalizada. Uma ideia para um futuro ainda mais distante seria trazer um minilaboratório para a zona quente – zona onde é efetuado o controlo estatístico do processo. Aumentar-se-ia a fiabilidade das medições e os operadores teriam apenas que introduzir as garrafas na máquina. Com isto eles poupariam tempo, não teriam problemas no cumprimento e não poderiam falsear os resultados. Outra ideia seria a introdução de *robots* de lubrificação o que permitiria reduzir o número de acidentes, libertar tempo para os operadores realizarem outras atividades nomeadamente medição e análise de dados e até uma poupança de líquido de lubrificação. Como desvantagens apresenta o preço, manutenção e o desgaste.

Referências

- Alves, Jorge Fernandes. 2012. *BA - Marca com história no vidro de embalagem*.
- Antony, Jiju. 2000. "Ten key ingredients for making SPC successful in organisations." *Measuring Business Excellence* 4 (4):7-10.
- Bird, D., and B.G. Dale. 1994. "The misuse and abuse of SPC: A case study examination." *International Journal of Vehicle Design* 15 (1-2):99-107.
- Bramwell, David. 2013. "An introduction to statistical process control in research proteomics." *Journal of Proteomics* 95:3-21.
- Chapman, Kenneth L. 1994. *Statistical Process Control Systems: Training Manual*. Fourth Edition ed.
- Cox, James F., John H. Blackstone, and John G. Schleier. 2003. *Managing Operations: A Focus on Excellence*: North River Pr.
- Crosby, P. B. 1979. *Quality is free*: New York: McGraw-Hill.
- Das, N. G. 2009. *Statistical Methods (Combined)*: McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited.
- Deming, W. E. 1986. *Out of the crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.
- Does, R. J. M. M., W. A. J. Schippers, and A. Trip. 1997. "A framework for implementation of statistical process control." *International Journal of Quality Science* 2 (3):181-198.
- Gejdoš, Pavol. 2015. "Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control." *Procedia Economics and Finance* 34:565-572.
- Guimarães, Rui Campos, and José A. Sarsfield Cabral. 2010. *Estatística*. 2ª Edição ed.
- Juran, J. M., and F. M. Gryna. 1988. *The quality control handbook*. Fourth Edition ed: New York: McGraw-Hill.
- LLC, Chrysler Group, Ford Motor Company, and General Motors Corporation. 2010. *Measurement Systems Analysis*. 4th Edition ed.
- Madanhire, Ignatio, and Charles Mbohwa. 2016. "Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country." *Procedia CIRP* 40:580-583.
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to Statistical Control*. Sixth Edition ed: John Wiley & Sons, Inc. Reprint, 6th Edition.
- Palmer, K., and K.-L. Tsui. 1999. "A review and interpretations of process capability indices." *Annals of Operations Research* 87 (0):31-47.
- Pan, Jeh-Nan. 2006. "Evaluating the gauge repeatability and reproducibility for different industries." *Quality and Quantity* 40 (4):499-518.

- Priede, Jānis. 2012. "Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and Its Strategic Necessity." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 58:1466-1475.
- Reynolds, Marion R., and Zachary G. Stoumbos. 2006. "A New Perspective on the Fundamental Concept of Rational Subgroups." In *Frontiers in Statistical Quality Control 8*, edited by Hans-Joachim Lenz and Peter-Theodor Wilrich, 172-184. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
- Ryan, Thomas P. 2011. *Statistical Methods for Quality Improvement*. Third Edition ed.
- Soković, Mirko, Jelena Jovanović, Zdravko Krivokapić, and Aleksandar Vujović. 2009. "Basic quality tools in continuous improvement process." *Journal of Mechanical Engineering* 55 (5):1-9.
- Steiner, Stefan, Bovas Abraham, and Jock MacKay. 1997. "Understanding process capability indices." *Institute for Improvement in Quality and Productivity research report, University of Waterloo, Ontario, Canada*.
- Suarez, J Gerald. 1992. Three Experts on Quality Management: Philip B. Crosby, W. Edwards Deming, Joseph M. Juran. DTIC Document.
- Tarí, Juan-José, and Vicente Sabater Sempere. 2004. "Quality tools and techniques: are they necessary for quality management?".
- Urdhwareshe, Hemant. 2006. "Validating measurement system using measurement system analysis (MSA)."
- Witzel, Morgen. 2005. *The Encyclopedia of the History of American Management: Thoemmes*.
- Xie, M., and T.N. Goh. 1999. "Statistical techniques for quality." *The TQM Magazine* 11 (4):238-242.

ANEXO A: Estrutura do Grupo BA Vidro

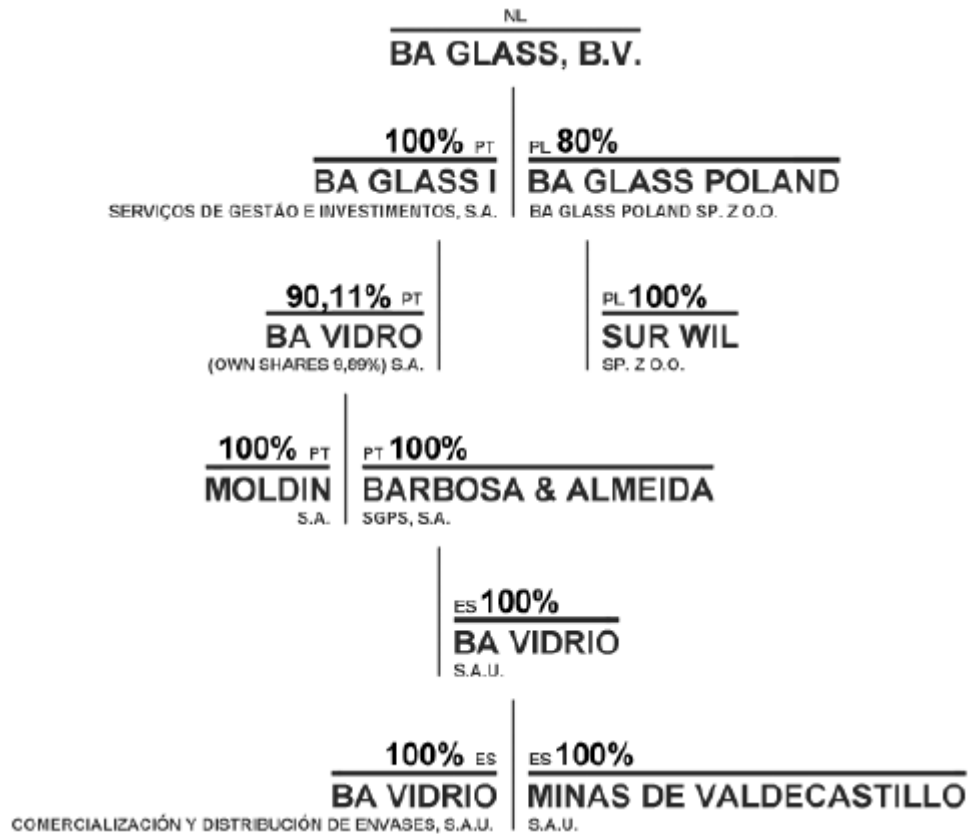


Figura 46 - Estrutura Atual do Grupo BA Vidro.

ANEXO B: Cronograma do Projeto

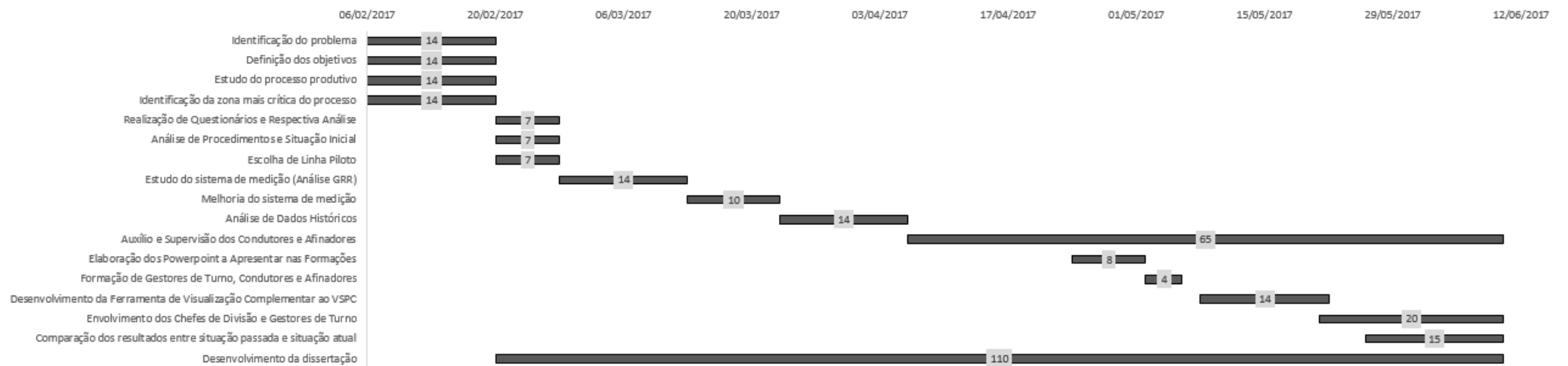


Figura 47 - Cronograma do Projeto.

ANEXO C: Resultados das Medições Obtidas no Estudo Gage R&R

VERTICALIDADE										
Operador 1	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	1,340	2,158	0,867	1,197	2,930	2,600	1,639	1,189	2,284	2,369
Medição 2	1,332	1,944	1,196	1,488	3,016	2,310	1,828	1,329	2,081	2,128
Medição 3	1,444	1,899	1,360	1,297	2,905	2,120	1,592	1,539	2,044	2,344
Média	1,372	2,000	1,141	1,327	2,950	2,343	1,686	1,352	2,136	2,280
Amplitude	0,112	0,259	0,493	0,291	0,111	0,480	0,236	0,350	0,240	0,241
Operador 2	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	1,598	1,863	0,938	1,439	2,835	2,784	1,539	1,486	2,197	2,291
Medição 2	1,594	0,371	0,976	1,191	1,958	2,453	1,738	1,341	2,219	2,174
Medição 3	1,372	1,964	0,635	1,316	2,782	2,086	1,620	1,410	1,890	2,245
Média	1,521	1,399	0,850	1,315	2,525	2,441	1,632	1,412	2,102	2,237
Amplitude	0,226	1,593	0,341	0,248	0,877	0,698	0,199	0,145	0,329	0,117
Operador 3	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	1,354	2,481	1,851	1,315	2,756	2,323	1,601	1,737	2,046	2,102
Medição 2	1,555	2,135	0,990	1,342	3,040	2,025	1,881	1,685	2,558	2,468
Medição 3	1,030	1,611	0,932	1,334	3,459	2,503	1,737	0,964	1,609	2,208
Média	1,313	2,076	1,258	1,330	3,085	2,284	1,740	1,462	2,071	2,259
Amplitude	0,525	0,870	0,919	0,027	0,703	0,478	0,280	0,773	0,949	0,366

Figura 48 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Verticalidade.

HORIZONTALIDADE										
Operador 1	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	0,267	0,313	0,228	0,054	0,278	0,198	0,297	0,293	0,228	0,297
Medição 2	0,164	0,325	0,246	0,038	0,289	0,183	0,202	0,352	0,201	0,269
Medição 3	0,271	0,330	0,297	0,046	0,376	0,204	0,299	0,348	0,257	0,323
Média	0,234	0,323	0,257	0,046	0,314	0,195	0,266	0,331	0,229	0,296
Amplitude	0,107	0,017	0,069	0,016	0,098	0,021	0,097	0,059	0,056	0,054
Operador 2	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	0,273	0,345	0,310	0,035	0,361	0,191	0,202	0,345	0,242	0,332
Medição 2	0,284	0,185	0,153	0,031	0,096	0,163	0,162	0,349	0,155	0,445
Medição 3	0,248	0,300	0,325	0,045	0,290	0,202	0,200	0,238	0,174	0,250
Média	0,268	0,277	0,263	0,037	0,249	0,185	0,188	0,311	0,190	0,342
Amplitude	0,036	0,160	0,172	0,014	0,265	0,039	0,040	0,111	0,087	0,195
Operador 3	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	0,227	0,247	0,210	0,023	0,256	0,105	0,130	0,114	0,071	0,068
Medição 2	0,168	0,300	0,091	0,049	0,250	0,146	0,113	0,148	0,215	0,008
Medição 3	0,130	0,103	0,314	0,012	0,273	0,153	0,246	0,207	0,230	0,287
Média	0,175	0,217	0,205	0,028	0,260	0,135	0,163	0,156	0,172	0,121
Amplitude	0,097	0,197	0,223	0,037	0,023	0,048	0,133	0,093	0,159	0,279

Figura 49 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Horizontalidade.

ESPESSURA DE OMBRO										
Operador 1	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	2,086	2,156	2,309	2,252	1,824	2,237	2,354	2,572	2,583	2,455
Medição 2	2,261	2,352	2,549	2,027	1,849	2,045	2,475	2,494	2,224	2,309
Medição 3	2,174	2,082	2,352	2,582	2,290	2,040	2,287	2,626	2,244	2,456
Média	2,174	2,197	2,403	2,287	1,988	2,107	2,372	2,564	2,350	2,407
Amplitude	0,175	0,270	0,240	0,555	0,466	0,197	0,188	0,132	0,359	0,147
Operador 2	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	2,232	2,312	2,513	2,334	2,455	2,144	2,438	2,593	2,511	2,605
Medição 2	2,280	2,373	2,463	2,493	2,536	2,206	2,826	2,770	2,565	2,545
Medição 3	2,307	2,189	2,732	2,355	2,473	2,355	2,639	2,657	2,310	2,616
Média	2,273	2,291	2,569	2,394	2,488	2,235	2,634	2,673	2,462	2,589
Amplitude	0,075	0,184	0,269	0,159	0,081	0,211	0,388	0,177	0,255	0,071
Operador 3	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	2,469	2,231	2,387	2,228	1,910	2,003	2,428	2,704	2,249	2,692
Medição 2	2,219	2,468	2,552	2,410	2,372	2,331	2,710	2,380	2,367	2,627
Medição 3	2,042	2,029	2,719	2,306	1,889	2,694	2,577	2,412	2,727	2,475
Média	2,243	2,243	2,553	2,315	2,057	2,343	2,572	2,499	2,448	2,598
Amplitude	0,427	0,439	0,332	0,182	0,483	0,691	0,282	0,324	0,478	0,217

Figura 50 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Espessura de Ombro.

ESPESSURA DE FUNDO										
Operador 1	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	3,490	5,560	4,540	5,440	5,330	4,492	4,900	4,750	4,530	5,240
Medição 2	3,440	5,870	4,660	5,620	5,770	5,140	5,440	4,730	4,790	5,530
Medição 3	3,410	5,620	4,820	5,300	5,430	4,290	5,260	4,370	4,510	5,310
Média	3,447	5,683	4,673	5,453	5,510	4,641	5,200	4,617	4,610	5,360
Amplitude	0,080	0,310	0,280	0,320	0,440	0,850	0,540	0,380	0,280	0,290
Operador 2	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	3,480	5,360	4,750	5,150	5,250	4,940	5,010	4,230	4,310	5,220
Medição 2	3,730	5,500	4,830	5,300	5,240	4,770	5,230	4,280	4,410	5,250
Medição 3	3,800	5,480	4,760	5,050	5,170	4,520	5,160	4,450	4,560	5,120
Média	3,670	5,447	4,780	5,167	5,220	4,743	5,133	4,320	4,427	5,197
Amplitude	0,320	0,140	0,080	0,250	0,080	0,420	0,220	0,220	0,250	0,130
Operador 3	Garrafas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1	3,990	6,170	5,470	6,760	6,820	6,780	5,470	4,250	4,480	5,320
Medição 2	5,090	5,530	4,750	5,670	5,600	4,500	5,180	4,440	4,700	5,170
Medição 3	4,070	6,220	5,650	7,250	7,040	4,710	5,220	4,480	4,730	5,470
Média	4,383	5,973	5,290	6,560	6,487	5,330	5,290	4,390	4,637	5,320
Amplitude	1,100	0,690	0,900	1,580	1,440	2,280	0,290	0,230	0,250	0,300

Figura 51 - Resultados Obtidos no MSA ao Aparelho de Espessura de Fundo.

ANEXO D: Resultados Gráficos do Estudo *Gage R&R* dos Outros Aparelhos de Medição

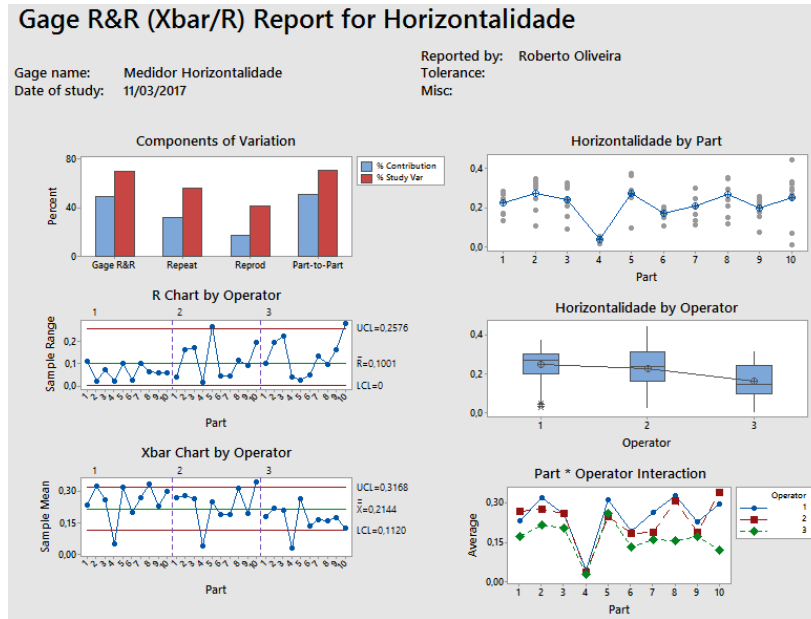


Figura 52 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R para o Aparelho de Horizontalidade.

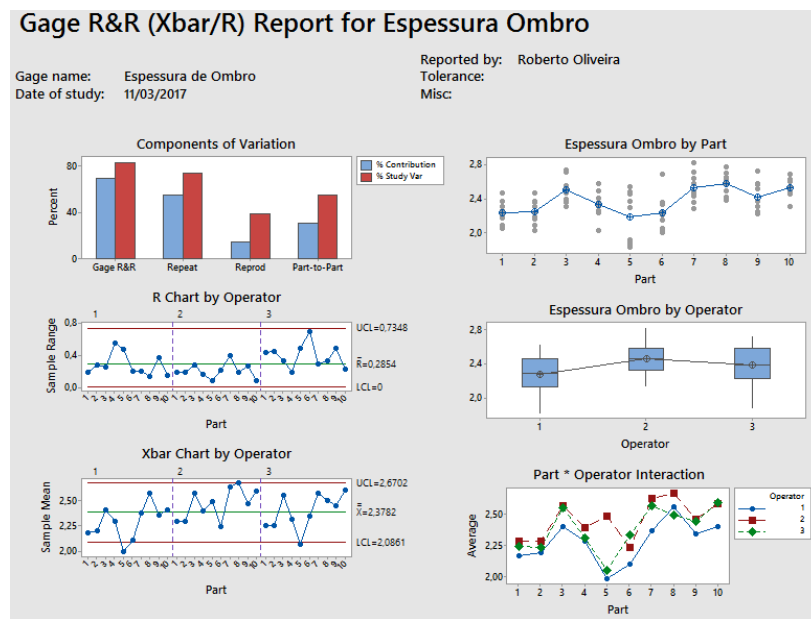


Figura 53 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R para o Aparelho de Espessura de Ombro.

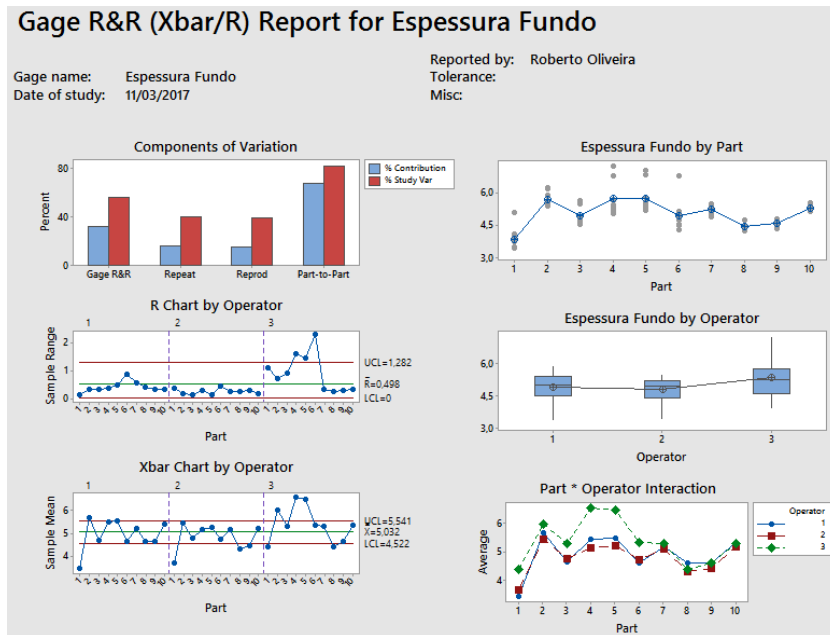


Figura 54 - Resultados Gráficos do Estudo Gage R&R do Aparelho de Medição de Espessura de Fundo.

ANEXO E: Gráficos dos Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos por Turno

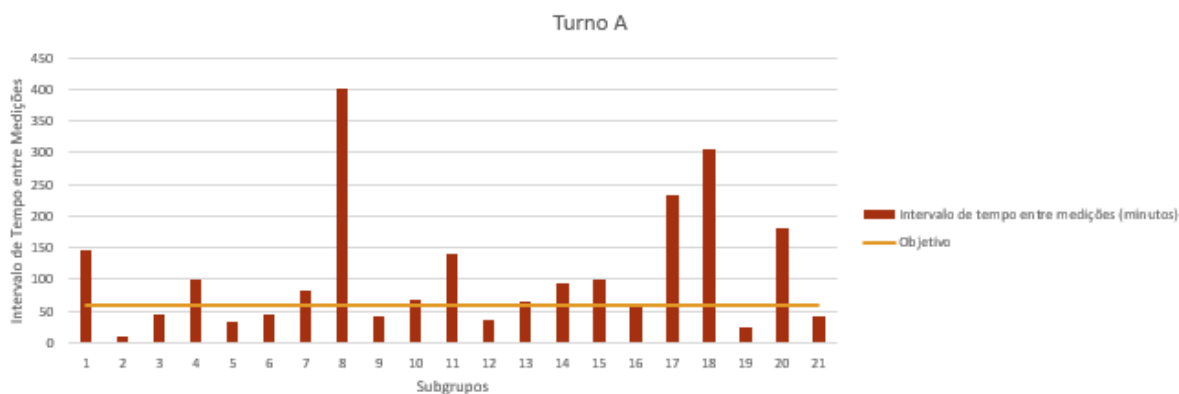


Figura 55 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno A.

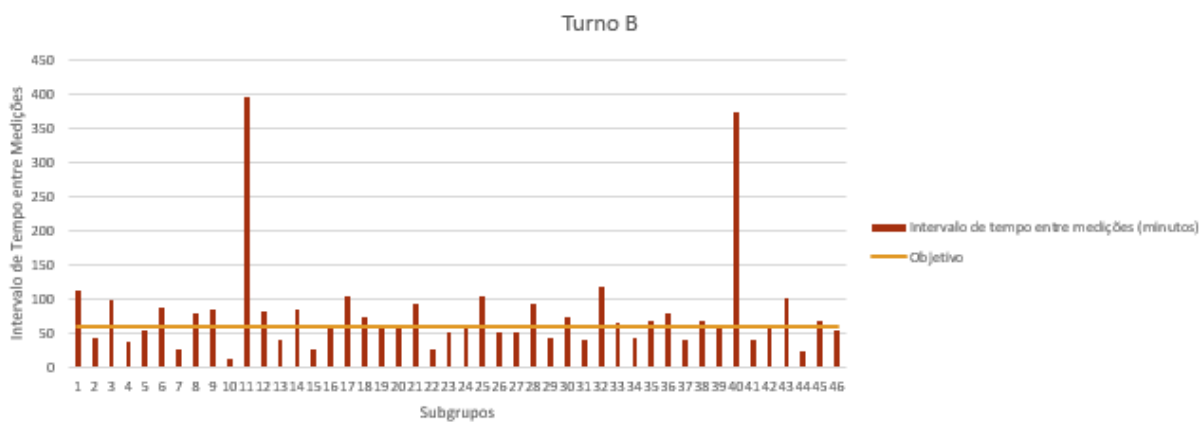


Figura 56 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno B.

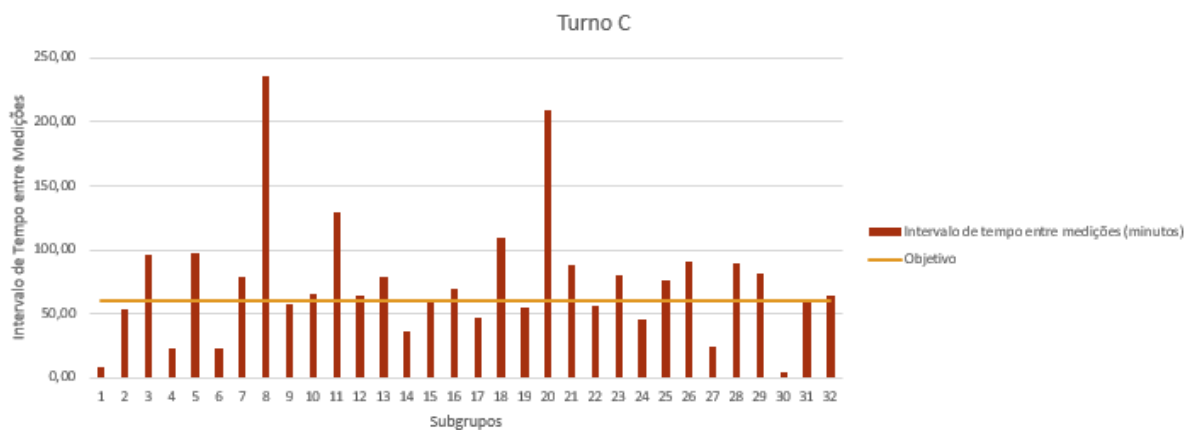


Figura 57 - Gráfico de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno C.

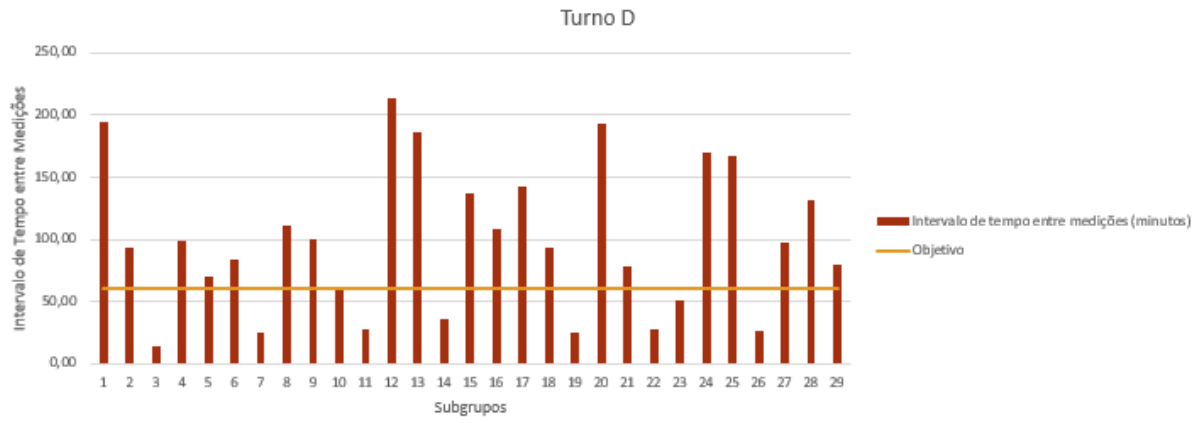


Figura 58 - Gráficos de Intervalos de Tempo entre Medições de Subgrupos do Turno D.

ANEXO F: *Mockup* da Ferramenta de Visualização

L21	TURNO C	Verticalidade ▾		
21/05/2017 10:30:05			Atualizar	
Nº de Medições	35 / 40			
Hora da última medição	07:12:20			
Hora da próxima medição	08:12:20			
Intervalo de tempo médio entre medições (minutos)	63 / 60	Cpk	1,34	
		Ppk	1,15	

Subgrupos fora do controle no gráfico das médias (Xbar)		Subgrupos fora do controle no gráfico das amplitudes (Range)	
ACIMA	2	ACIMA	1
ABAIXO	0	ABAIXO	0

Cavidades e Moldes associados		Cavidades e Moldes associados		Cavidades e Moldes associados		Cavidades e Moldes associados	
Cavidade	Molde	Cavidade	Molde	Cavidade	Molde	Cavidade	Molde
7A	23			2A	8		
7B	35			2B	16		
7C	41			2C	21		
8A	5			3A	48		
8B	54			3B	76		
3A	12						
3B	28						
3C	33						
4A	42						
4B	49						

Figura 59 - *Mockup* da Ferramenta de Visualização.

ANEXO G: Ferramenta Final de Visualização

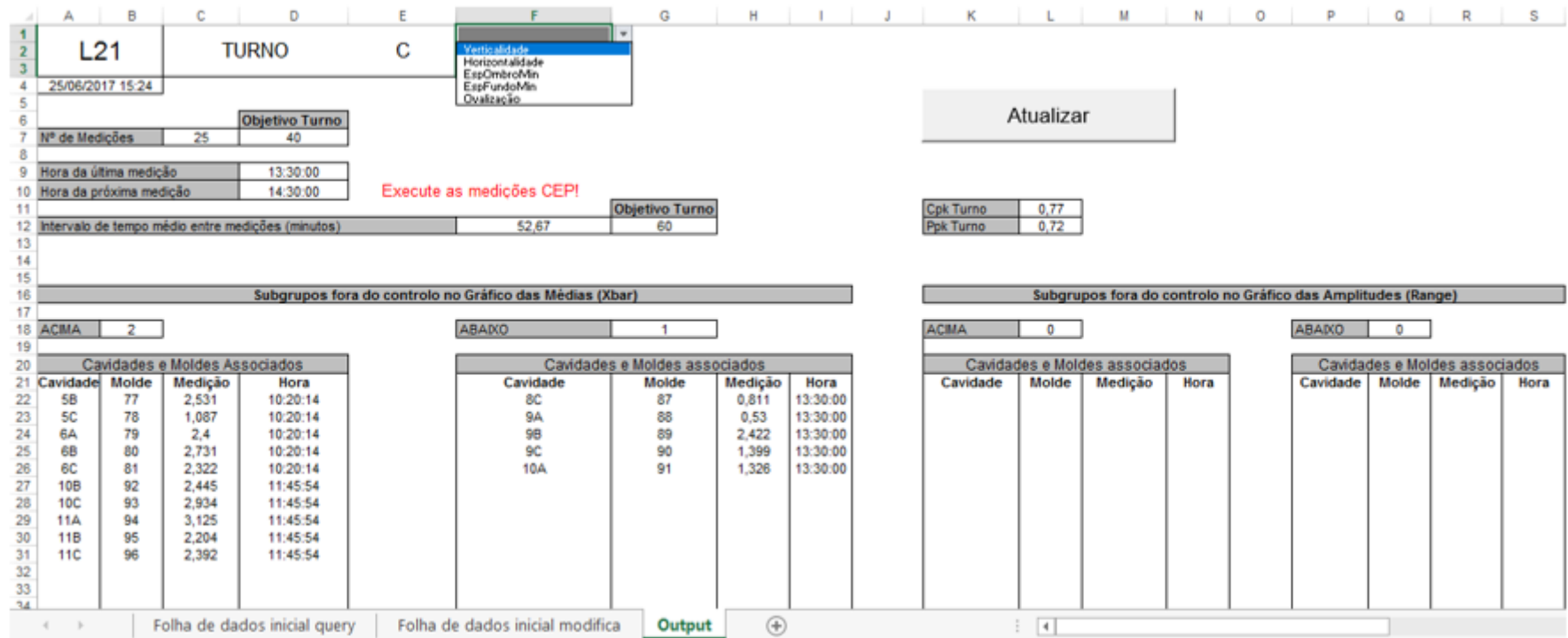


Figura 60 - Ferramenta Final de Visualização.