



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diana Elisabete Vilaça Fernandes

Contributo para a Melhoria da Qualidade de
Processos de Extrusão na Indústria de Cabos
Elétricos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diana Elisabete Vilaça Fernandes

Contributo para a Melhoria da Qualidade de
Processos de Extrusão na Indústria de Cabos
Elétricos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Alexandre Costa Araújo Sampaio

DECLARAÇÃO

Nome: Diana Elisabete Vilaça Fernandes

Endereço eletrónico: dianavilacafernandes@gmail.com

Telefone: 912952202

Número do Bilhete de Identidade: 13794767

Título da dissertação: Contributo para a Melhoria da Qualidade de Processos de Extrusão na Indústria de Cabos Elétricos

Orientador(es): Paulo Alexandre Costa Araújo Sampaio

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o contributo de algumas pessoas, às quais gostaria de expressar os meus agradecimentos.

Ao Eng. José Cruz e a todos os colegas do departamento de apoio à produção, pelos conhecimentos transmitidos e pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

À direção da empresa pela oportunidade concedida e a todos os colegas dos vários departamentos que tão bem me acolheram e que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos colaboradores dos processos em estudo neste projeto, que sempre se mostraram prontos a ajudar no esclarecimento das minhas dúvidas e nas sessões de *brainstorming* realizadas.

Ao Prof. Paulo Sampaio, pela orientação científica e por todo apoio e motivação que me concedeu durante esta caminhada.

Por fim, aos meus familiares e amigos, por todas as palavras de incentivo que me deram ânimo nas alturas mais difíceis.

A todos o meu muito OBRIGADA!

RESUMO

A aposta em programas de melhoria da qualidade dos processos é cada vez mais um caminho adotado pelas empresas para fazer face ao mercado competitivo em que estão inseridas. Através da implementação deste tipo de programas, é possível conferir robustez aos processos e, conseqüentemente, reduzir os custos com desperdícios internos relacionados com a qualidade.

As ferramentas da qualidade representam um vetor importante no sucesso de qualquer programa de melhoria contínua da qualidade do processo. Estas ferramentas constituem meios úteis no controlo, análise e organização de dados relevantes para as tomadas de decisão nas organizações.

A presente dissertação tem como principal objetivo a implementação de um programa da melhoria da qualidade dos processos de extrusão de uma indústria de cabos elétricos, tendo por base a aplicação de algumas ferramentas da qualidade, nomeadamente: o diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa e gráficos de controlo.

Assim, a metodologia empregue inicia com a identificação e priorização dos defeitos registados nos processos em estudo, cujas causas e potenciais medidas corretivas devem ser alvo de estudo. A participação ativa dos operadores e das chefias no estudo dos defeitos críticos foi conseguida com recurso a sessões de *brainstorming*, em que se introduziu e aplicou o diagrama de Ishikawa para o levantamento das principais causas dos defeitos críticos, assim como o estudo de eventuais medidas corretivas. Paralelamente, estimaram-se os custos envolvidos nas falhas da qualidade dos dois processos, nomeadamente os custos com sucata e retrabalho.

Os resultados obtidos indicaram que os defeitos relacionados com características dimensionais dos produtos representavam uma parte significativa dos defeitos registados nos dois processos, o que revelou a pertinência da monitorização destes parâmetros através da aplicação de gráficos de controlo.

Através da aplicação dos procedimentos introduzidos foi possível identificar algumas causas de variabilidade de processos, tais como a variação da velocidade da linha de extrusão e (in)consistência entre turnos de trabalho. O projeto culmina com a sugestão de algumas propostas de melhoria que visam aumentar a eficácia dos procedimentos introduzidos, bem como incentivar a adoção da filosofia de melhoria contínua.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade, melhoria contínua.

ABSTRACT

Nowadays, the quality improvement programs have been adopted by the companies to develop their several processes. Due to this program, the companies can reduce quality related wastes, such as, scrap and rework costs.

The quality tools are keys to the continuous quality improvement and are very important to the companies' success. These tools can be useful in control, analysis and data organization, that are relevant to the decision making process.

This thesis' main goal is to create a quality improvement program in the extrusion process of a wire cable industry, applying some quality tools such as: Pareto analysis, cause and effect diagram and control charts.

Therefore, this research begins with the identification of the registered defects in the processes, which causes should be case of study. The workers and supervisors involvement in this study were achieved with brainstorming sessions, where it was applied the Ishikawa diagram to find the main causes of the critic defects and corrective measures as well. Simultaneously, the costs involved in the processes' quality defects, such as scrap and rework costs, were calculated.

The results have shown that the defects related with the product's dimensions were a significant part of the flaws registered, which reveals that these parameters should be monitored through control charts.

Through the application of these procedures, it was possible to identify some causes of the process variability, such as the changes of the extrusion line speed and the (in)consistency between shifts. The project is finished with some advices to improve the effectiveness of the procedures and how to incentive the adoption of the continuous improvement philosophy.

Keywords: Quality Tools, Continuous Improvement Programs.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Índice de Figuras..... | xiii |
| Índice de Tabelas..... | xv |
| Índice de Gráficos..... | xv |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xvii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento teórico..... | 1 |
| 1.2 Motivação e Objetivos..... | 3 |
| 1.3 Metodologia de Investigação..... | 3 |
| 1.4 Organização da dissertação..... | 4 |
| 2. Revisão bibliográfica..... | 5 |
| 2.1 Qualidade..... | 5 |
| 2.1.1 Ferramentas da Qualidade..... | 5 |
| 2.1.2 Custos da Qualidade..... | 7 |
| 2.2 Controlo Estatístico do Processo..... | 8 |
| 2.2.1 Cartas de Controlo..... | 12 |
| 2.2.2 Regras de interpretação de cartas de controlo..... | 16 |
| 2.2.3 Estudos de capacidade do processo..... | 17 |
| 2.2.4 Abordagens de Implementação do CEP..... | 19 |
| 3. Empresa..... | 23 |
| 3.1 Produtos, Mercados e Clientes..... | 24 |
| 3.2 A Qualidade na Solidal..... | 25 |
| 3.2.1 Modelo de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança..... | 26 |
| 3.2.2 Controlo da Qualidade..... | 26 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3 | Processo Produtivo..... | 28 |
| 4. | Estudo de caso: Melhoria da Qualidade de Processos de Extrusão na Indústria de Cabos Elétricos | 33 |
| 4.1 | Produtos em estudo | 33 |
| 4.2 | Caracterização geral do processo de extrusão..... | 34 |
| 4.2.1 | Principais componentes de uma extrusora | 34 |
| 4.2.2 | Processo de Extrusão I: Isolamento de Condutores Elétricos..... | 36 |
| 4.2.3 | Processo de Extrusão II: Embainhamento..... | 38 |
| 4.3 | Análise ABC dos defeitos | 40 |
| 4.4 | Análise Económica dos Defeitos | 44 |
| 4.4.1 | Desperdícios relacionados com variação positiva de espessura..... | 44 |
| 4.4.2 | Custos com reparações de papos | 47 |
| 4.4.3 | Custos com Retrabalho após Embainhamento | 48 |
| 4.5 | Análise das Causas dos Defeitos Críticos | 51 |
| 4.5.1 | Análise de Causas de Defeitos de Isolamento..... | 52 |
| 4.5.2 | Análise de Causas de Defeitos de Embainhamento..... | 53 |
| 4.6 | Controlo Estatístico do Processo de Isolamento | 56 |
| 4.6.1 | Plano de Controlo | 56 |
| 4.6.2 | Recolha de dados | 58 |
| 4.6.3 | Gráficos de controlo..... | 59 |
| 4.7 | Propostas de Melhoria..... | 68 |
| 5. | Conclusão | 73 |
| 5.1 | Trabalho futuro | 74 |
| | Referências Bibliográficas | 77 |
| | Anexo I – Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo..... | 81 |
| | Anexo II – Jogo interativo para introdução do diagrama de causa-efeito | 82 |
| | Anexo III - Opções de visualização do display do aparelho de medição..... | 83 |

| | |
|--|----|
| Anexo IV – Dados amostragem 1 | 85 |
| Anexo V – Dados amostragem 2 | 87 |
| Anexo VI – Sugestão para alteração da localização das ferramentas de soldadura | 89 |
| Anexo VII - Fluxograma do Plano de Melhoria da Qualidade do Processo..... | 90 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Diagrama de Pareto (Fonte: Juran & De Feo (2010)) | 6 |
| Figura 2 - Diagrama Causa e Efeito (Fonte: Juran & De Feo (2010)) | 6 |
| Figura 3 - Fluxograma (Fonte: Juran & De Feo (2010)) | 7 |
| Figura 4 – Aspectos que afetam o processo (Adaptado de Rauwendaal (1993)) | 9 |
| Figura 5 - Distribuição Normal (Fonte: Montgomery (2005)) | 11 |
| Figura 6 - Gráfico de controlo (Fonte: Montgomery (2005)) | 13 |
| Figura 7 - Padrões de não aleatoriedade em gráficos de controlo (Fonte: Assaleh & Al-assaf (2005)).. | 16 |
| Figura 8 – Relação entre Cp e Cpk (Fonte: Srikaeo, Furst, & Ashton (2005))..... | 18 |
| Figura 9 – Pré requisitos que influenciam sucesso do CEP (Fonte: Antony & Taner (2003)) | 19 |
| Figura 10 – Instalações Fabris da Solidal e Quintas & Quintas S.A..... | 23 |
| Figura 11 – Cabos Nus..... | 24 |
| Figura 12 – Cabos Isolados | 24 |
| Figura 13 – Forno de Fusão..... | 28 |
| Figura 14 - Laminador | 29 |
| Figura 15 - Estufa de Recozimento..... | 30 |
| Figura 16 – Cabeça de Extrusão Tripla..... | 30 |
| Figura 17 – Catenárias de Vulcanização..... | 30 |
| Figura 18 – Aplicação de Ecrã Metálico | 31 |
| Figura 19 – Linha de Extrusão de Aplicação de Bainhas..... | 31 |
| Figura 20 - Composição cabo em estudo | 33 |
| Figura 21 - Extrusora (Adaptado de Reifenhäuser(2012))..... | 35 |
| Figura 22 – Cabeça de extrusão com alimentação lateral (Fonte: IEP (1997))..... | 35 |
| Figura 23 – Linha de Isolamento de Cabos Elétricos de MT e AT (Fonte: Troester (N.D.))..... | 36 |
| Figura 24 – Variáveis de Controlo do Processo de Isolamento | 37 |
| Figura 25 - Variáveis de Controlo do Processo de Embainhamento | 39 |
| Figura 26 – <i>Display</i> Auto Controlo da Operação de Isolamento..... | 40 |
| Figura 27 – <i>Display</i> Auto Controlo da Operação de Embainhamento..... | 42 |
| Figura 28 – Diagrama Causa-Efeito sobre Variação da Espessura de Isolamento | 52 |
| Figura 29 - Diagrama Causa e Efeito sobre Variação da Espessura de Embainhamento | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 - Aparelho de medição de espessuras de Isolamento (Fonte: Sikora (N.D.)) | 56 |
| Figura 31 - Output do sistema de medição de espessuras de Isolamento..... | 57 |
| Figura 32 - Excerto ficheiro de exportação do aparelho de medição | 58 |
| Figura 33 – Esquema de localização de pontos de medição de espessuras | 58 |
| Figura 34 - Configuração atual dos equipamentos utilizados na soldadura | 63 |
| Figura 35 – Dinâmica do modelo de melhoria da qualidade dos processos proposto | 68 |
| Figura 36 – Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo (Fonte: Montgomery (2005)) .. | 81 |
| Figura 37 - Jogo interativo para explicação do diagrama de causa e efeito | 82 |
| Figura 38 –Opção “ <i>Online Statistic</i> ” do aparelho de medição (Fonte: Sikora (N.D.))..... | 83 |
| Figura 39 – Opção “ <i>Trend</i> ” do aparelho de medição (Fonte: Sikora (N.D.)) | 84 |
| Figura 40 – Localização atual das ferramentas de retificação de soldadura | 89 |
| Figura 41 – Organização de ferramentas proposta | 89 |
| Figura 42 – Plano de melhoria da qualidade do processo..... | 90 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Limites de controlo das cartas de controlo por variáveis para parâmetros não conhecidos | 13 |
| Tabela 2 – Limites de controlo das cartas de controlo por variáveis para parâmetros conhecidos..... | 14 |
| Tabela 3 – Interpretação do valor de Cp..... | 17 |
| Tabela 4 – Requisitos dimensionais de espessuras de Isolamento..... | 44 |
| Tabela 5 – Pressupostos do estudo do impacto de aumento de espessura da camada de isolamento | 45 |
| Tabela 6 – Custos de Reparação de Papos | 48 |
| Tabela 7 – Custo de retrabalho após operação de aplicação de bainha externa | 50 |
| Tabela 8 – Defeitos frequentes no processo de embainhamento | 53 |
| Tabela 9 – Output do Teste <i>Kolmogorov-Smirnov</i> à normalidade dos dados da amostragem 1 | 59 |
| Tabela 10 – Variações de velocidade vs Pontos fora dos limites de controlo | 61 |
| Tabela 11 - Output do teste <i>Kolmogorov-Smirnov</i> à normalidade dos dados da amostragem 2 | 65 |
| Tabela 12 – Resumo das propostas de melhoria..... | 69 |
| Tabela 13 – Exemplificação da proposta de implementação de diário de bordo | 70 |
| Tabela 14 – Plano de Resolução de Problemas Isolamento | 71 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Diagrama de Pareto dos defeitos da operação de isolamento | 41 |
| Gráfico 2 - Diagrama de Pareto dos defeitos de Embainhamento | 42 |
| Gráfico 3 – Impacto do aumento da espessura de SCI | 46 |
| Gráfico 4 - Impacto do aumento da espessura de Isolamento | 46 |
| Gráfico 5 - Impacto do aumento da espessura de Isolamento | 47 |
| Gráfico 6 – Gráficos de Valores Individuais (Amostragem 1) | 60 |
| Gráfico 7 – Velocidade de Linha na Amostragem 1 | 62 |
| Gráfico 8 - Velocidade de Linha na Amostragem 2..... | 64 |
| Gráfico 9 – Gráficos de Valores Individuais (Amostragem 2) | 66 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

| | |
|-------|---|
| AC | Auto Controlo |
| Al | Alumínio |
| AT | Alta tensão |
| CEP | Controlo Estatístico do Processo |
| Cu | Cobre |
| CUSUM | Cumulative Sum |
| EWMA | Exponentially Weighted Moving Average |
| LIC | Limite Inferior de Controlo |
| LSC | Limite Superior de Controlo |
| MP | Matéria-Prima |
| MT | Média Tensão |
| PE | Polietileno |
| PEX | Cross-Linked Polyethylene |
| PVC | Policloreto de Vinila |
| SCE | Semicondutor Exterior |
| SCI | Semicondutor Interior |
| SPP | Sistema de Pilotagem de Produção |
| SPSS | Statistical Package for the Social Sciences |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento teórico

Segundo Feigenbaum, citado em Reed, Lemak e Mero (2000), “*Quality is what customer says it is*”. Alguns autores referem-na como vantagem competitiva, um assunto de importância estratégica ou até meio de sobrevivência. Por isso, o papel da qualidade foi ganhando reconhecimento e a sua gestão passou a fazer parte das organizações (Kathuria & Davis, 1999).

Atualmente, as pequenas e médias empresas devem ponderar a aposta no desenvolvimento de processos mais eficientes como meio de sobrevivência no mercado competitivo e exigente em que estão inseridas (Motorcu & Güllü, 2006).

De acordo com Bubbey e Dale (1997), citados em Pacheco, Sampaio, & Rodrigues (2011), o sucesso da melhoria de um processo tem como componente vital o uso de ferramentas e técnicas da qualidade. McQuater (1995) define ferramentas e técnicas como métodos, meios ou mecanismos que podem ser aplicados a uma atividade específica. Por sua vez, uma ferramenta pode ser descrita como um mecanismo que tem um papel específico, podendo ser usada individualmente, enquanto uma técnica abrange um conjunto de ferramentas (Bamford & Greatbanks, 2005).

Apesar de existir uma enorme variedade de ferramentas da qualidade, as mais populares e descritas pelos autores são as sete ferramentas básicas, sugeridas por Ishikawa, nomeadamente: o diagrama de causa e efeito, análise de Pareto, folha de verificação, gráficos de controlo, histogramas, fluxogramas e gráficos de dispersão (Tarí & Sabater, 2004).

O SPC (*Statistical Process Control*) é uma das técnicas usadas no controlo da qualidade, concretamente para medir e analisar a variabilidade de um determinado processo (Dudek-Burlikowska, 2005).

No que se refere a metodologias para implementação do SPC, a Philips Semiconducters, DE\Sarah Lee (coffee and tea), entre outras organizações, utilizaram uma metodologia, em que os dez passos seguidos são resumidos nos principais propósitos do SPC, nomeadamente: descrição e análise do processo, investigação e implementação de ações de melhoria, definição de medidas efetivas para controlar o processo e, por fim, avaliação do desempenho e implementação da filosofia de melhoria contínua (Does, Schippers, & Trip, 1997, p. 188).

Conforme é supramencionado, sendo o SPC uma técnica da qualidade, este pressupõe a utilização de um conjunto de ferramentas, que são selecionadas com base na necessidade de cada fase. Na descrição do processo poderá ser útil a utilização de fluxogramas ou mapas de processo (Does et al., 1997). No que se refere à análise das causas e investigação de ações de melhoria, esta pode resultar da combinação do diagrama de Pareto com o diagrama de causa e efeito, também conhecido por diagrama de Ishikawa ou diagrama espinha de peixe. O objetivo do diagrama de Pareto é identificar os tipos de problemas/defeitos que têm maior impacto na percentagem de não conformidades, para posteriormente estudar as possíveis causas e os seus relacionamentos com recurso ao diagrama de espinha de peixe (Jayswal, Li, Zanwar, Lou, & Huang, 2011).

Entre as várias ferramentas utilizadas no SPC, os gráficos de controlo são considerados a ferramenta mais importante, tendo sido propostos por Walter A. Shewart nos anos 20, como primeira ferramenta para monitorização da variabilidade do processo, com o intuito de identificar a sua natureza – aleatória ou assinalável (Assaleh & Al-assaf, 2005; Sherman, 2012). Estes gráficos são utilizados para monitorizar se um processo está ou não sobre controlo estatístico e são baseados na recolha de dados sobre uma ou várias características da qualidade do processo ou produto (Kaya & Kahraman, 2011).

No estudo realizado por Pacheco (2012) sobre a importância das ferramentas da qualidade nas organizações Portuguesas, os gráficos de controlo estão entre o conjunto de ferramentas com maior importância apercebida pelos inquiridos – 92% responderam positivamente em relação à importância dos gráficos de controlo, e também estão entre as ferramentas mais utilizadas – cerca de 82% dizem utilizar esta ferramenta com muita frequência.

Na metodologia de implementação de SPC proposta por Does et al. (1997), uma das fases sugeridas consiste na avaliação do desempenho e implementação da filosofia de melhoria contínua. Neste contexto, os índices de capacidade do processo permitem quantificar a capacidade com que o processo responde às especificações, constituindo, assim, indicadores importantes nos programas de melhoria contínua (Wu, Pearn, & Kotz, 2009).

1.2 Motivação e Objetivos

A aposta na aplicação de ferramentas da qualidade desempenha um papel importante na melhoria da qualidade dos processos e, conseqüentemente, na redução de custos de produção.

No caso particular da indústria de cabos elétricos, esta está inserida num mercado exigente, em que a qualidade e a inovação tecnológica em produtos e processos são elementos vitais para a sobrevivência no setor.

A extrusão de polímeros é um processo complexo, cujos desperdícios representam custos significativos para a empresa. Neste sentido, considerou-se pertinente implementar um programa de melhoria da qualidade do processo, tendo por base os seguintes objetivos:

- Definir quais são os tipos de não conformidades com mais impacto nos índices de desempenho e mais críticos para o processo;
- Calcular o valor económico dos defeitos críticos;
- Identificar as causas das não conformidades e estudar possíveis ações corretivas;
- Implementar o sistema de controlo estatístico de processo capaz de monitorizar parâmetros de interesse definidos ao longo do projeto.

Para tal, ao longo do projeto foram aplicadas algumas ferramentas da qualidade, nomeadamente o diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa e gráficos de controlo.

1.3 Metodologia de Investigação

O estudo de caso foi a metodologia de investigação empregue na realização desta dissertação. Esta é uma metodologia que se baseia no estudo aprofundado de um fenómeno, em que o investigador tem pouco controlo sobre os acontecimentos (McCutcheon & Meredith, 1993; Yin, 1994) .

Os estudos de caso podem ser constituídos por um estudo de um caso único ou ser resultado de múltiplos casos, em que são utilizados diferentes tipos de recolha de dados, tais como análise de arquivos, entrevistas, questionários e observações. As análises podem ser do tipo qualitativo ou quantitativo ou uma combinação das duas (Eisenhardt & M., 1989).

O presente estudo de caso pretende descrever o processo de introdução de um modelo proposto para a melhoria da qualidade dos processos de extrusão de uma indústria de cabos elétricos. Para tal, recorreu-se à análise de várias fontes de dados, nomeadamente documentos da empresa (histórico dos

defeitos registados no Auto-Controlo, fichas técnicas; entre outros), entrevistas e observação das atividades e de dados recolhidos.

Assim, este estudo de caso pretende dar a conhecer o contexto geral em que decorre a investigação, bem como, os métodos, ferramentas e procedimentos utilizados em cada fase do plano de melhoria da qualidade do processo.

1.4 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a introdução à dissertação, que se divide em quatro subcapítulos: o enquadramento teórico, os objetivos propostos, a metodologia de investigação e, por fim, a organização da dissertação.

No capítulo 2, expõe-se a revisão bibliográfica efetuada, apresentando-se a base teórica e os conceitos aplicados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 3 é feita a apresentação da empresa onde foi desenvolvido o projeto. De uma forma breve, descreve-se a empresa, bem como os seus principais produtos, mercados e clientes. Para além disso, é feita uma contextualização à temática da qualidade na empresa, descrevendo-se o modelo de gestão da qualidade, ambiente e segurança adotado, bem como os procedimentos de controlo da qualidade existentes. Este capítulo culmina com uma breve descrição do sistema produtivo.

O capítulo 4 apresenta o trabalho desenvolvido na Solidal, relativo aos procedimentos adotados para a melhoria da qualidade dos processos em estudo, ou seja, a descrição mais detalhada dos processos em questão, a identificação dos defeitos críticos, a análise dos custos que estes representam e o estudo das suas possíveis causas. Por fim, abordam-se as etapas de implementação dos gráficos de controlo, bem como as suas respetivas conclusões e propostas de melhoria.

No capítulo 5 são apresentadas conclusões gerais do trabalho, assim como as perspetivas de trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade

A palavra “qualidade” é utilizada pelas pessoas em diversas situações e varia consoante a perceção de cada indivíduo sobre o que é a qualidade de um produto ou serviço.

De acordo com Oakland (1993), quando se pretende definir o termo qualidade, os requisitos do cliente, nomeadamente as suas necessidades e expectativas relativamente ao produto e ou serviço, devem ser incluídas nesta definição. O mesmo autor refere que esta ideia tem sido expressa de várias formas por alguns autores, que pelos seus contributos nesta temática, são intitulados de *gurus* da qualidade. A título de exemplo, Juran define qualidade como adequação à finalidade ou uso do produto. Philip Crosby afirma que a qualidade baseia-se na conformidade com as especificações. E, para Deming, a qualidade deve visar as necessidades presentes e futuras do cliente.

2.1.1 Ferramentas da Qualidade

McQuater (1995) define ferramentas e técnicas como métodos, meios ou mecanismos que podem ser aplicados a uma atividade específica. Enquanto uma ferramenta pode ser descrita como um mecanismo que tem um papel específico e ser usada individualmente, uma técnica abrange um conjunto de ferramentas (Bamford & Greatbanks, 2005).

Embora exista uma enorme variedade de ferramentas da qualidade, as que mais se destacam são as sete ferramentas básicas, sugeridas por Ishikawa, nomeadamente: o diagrama de causa e efeito, análise de Pareto, folha de verificação, gráficos de controlo, histogramas, fluxogramas e gráficos de dispersão (Tari & Sabater, 2004).

Para além dos gráficos de controlo que são explicados com mais detalhe no subcapítulo 2.2.1 foram utilizadas as seguintes ferramentas da qualidade no desenvolvimento do programa de melhoria da qualidade dos processos de extrusão de cabos elétricos:

- **Diagrama de Pareto**

Consiste numa distribuição de atributos agrupados por categorias (Figura 1), que tem como objetivo identificar as categorias mais significativas numa determinada análise (Montgomery, 2005).

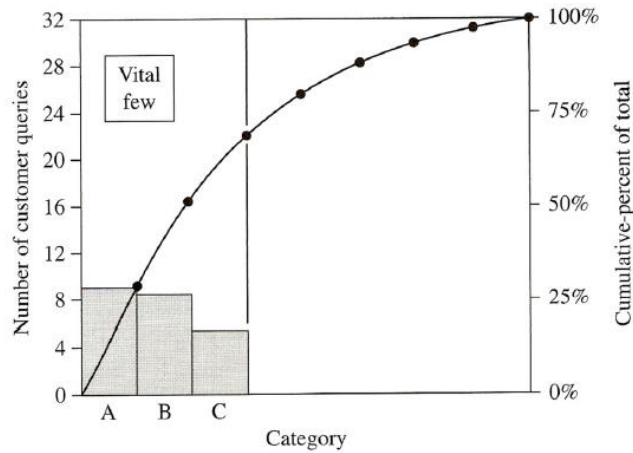


Figura 1 - Diagrama de Pareto (Fonte: Juran & De Feo (2010))

- **Diagrama Causa e Efeito**

Após a identificação de um determinado problema, devem analisar-se as suas potenciais causas. Para situações em que as causas não são claras, a utilização de um diagrama causa e efeito (Figura 2) pode ajudar a equipa de melhoria contínua na exploração e interligação das causas potenciais de um determinado efeito (Montgomery, 2005).

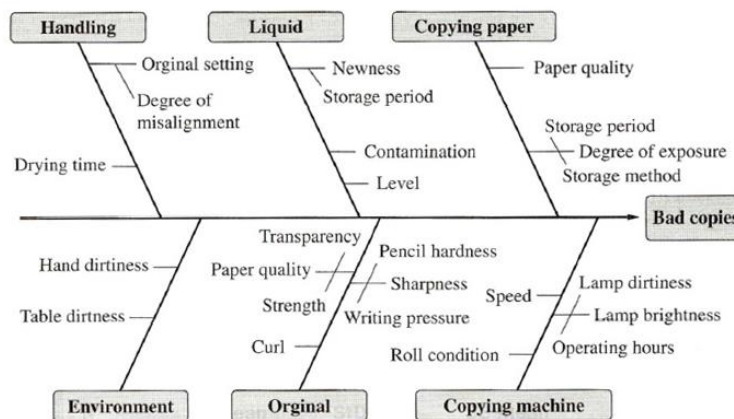


Figura 2 - Diagrama Causa e Efeito (Fonte: Juran & De Feo (2010))

- **Fluxograma**

O fluxograma (Figura 3) consiste numa representação que mostra todas as fases de um processo ou procedimento. Identifica o fluxo do processo, bem como a interação entre as fases do processo. Pode ajudar na identificação de potenciais pontos de controlo (Montgomery, 2005).

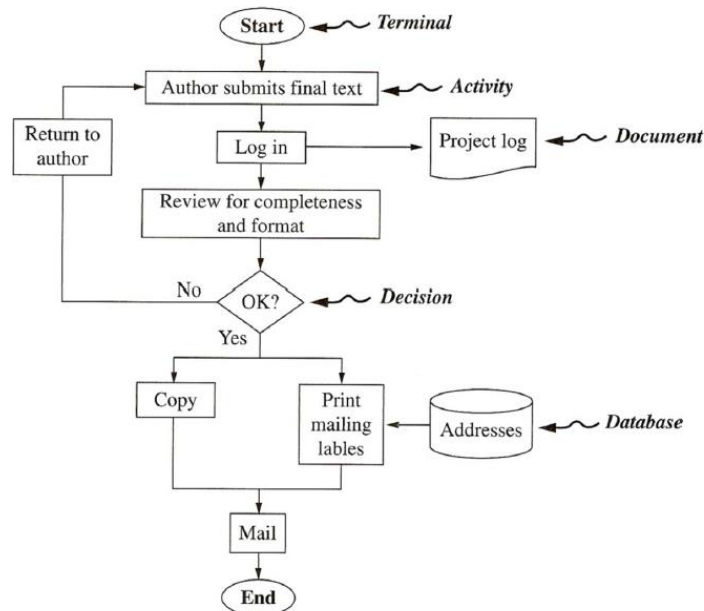


Figura 3 - Fluxograma (Fonte: Juran & De Feo (2010))

2.1.2 Custos da Qualidade

De acordo com DeFeo (2001), quando os custos da qualidade são inicialmente determinados, apenas as categorias visíveis são incluídas na análise, nomeadamente os custos com produtos defeituosos, gastos com garantia, reclamações de clientes, inspeção de produtos, *reworks* e testes. O autor refere que, na generalidade, estes custos representam cerca de 4 a 5% das vendas, porém estes custos da não qualidade são apenas “o topo do *iceberg*”. Os restantes custos são normalmente descurados na análise, mas podem representar cerca de 15 a 25% dos custos anuais de uma empresa.

Segundo o mesmo autor, os custos da qualidade podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Custos de Avaliação – são os custos inerentes à verificação da conformidade dos materiais e produtos, como por exemplo custos com inspeção da receção de materiais, inspeções e testes dos produtos, auditorias, entre outros.

- Custos das Falhas
 - Internas – são os custos inerentes à deteção das falhas na conformidade dos requisitos antes da entrega ao cliente, tais como custos com sucata, *reworks*, entre outros.
 - Externas – são custos inerentes a falhas que afetam diretamente o cliente, tais como custos com garantia, reclamações, entre outros.

Para além destas três categorias, são também referidos por outros autores (Munro, Maio, Naway, & Ramu, 2007), os custos de prevenção, que são custos associados às ações que têm como objetivo minimizar os custos das falhas, nomeadamente o planeamento da qualidade, a formação, treino, entre outros.

2.2 Controlo Estatístico do Processo

O Controlo Estatístico do Processo é uma das técnicas utilizadas no controlo da qualidade, concretamente para medir e analisar a variabilidade de um determinado processo (Dudek-Burlikowska, 2005).

Este conceito foi introduzido por Walter A. Shewhart nos anos 20, aquando da sua proposta dos gráficos de controlo como primeira ferramenta para monitorização da variabilidade de um processo (Sherman, 2012).

Este método tem especial interesse para as indústrias, pela sua aplicabilidade na monitorização da variabilidade dos processos de manufatura e, conseqüentemente, na diminuição de produtos não conformes.

Tal como o nome indica, o Controlo Estatístico do Processo assenta em princípios básicos do “pensamento estatístico”. Um dos princípios básicos que a Estatística defende é que todos os processos estão sujeitos a variabilidade (De Mast, Schippers, Does, & Van Den Heuvel, 2000).

As causas de variabilidade podem estar associadas aos seguintes aspetos que afetam a qualidade do processo ou produto (Figura 4).



Figura 4 – Aspetos que afetam o processo (Adaptado de Rauwendaal (1993))

Segundo Shewhart, as causas de variabilidade podem ser de dois tipos: causas comuns ou causas assinaláveis (De Mast et al., 2000). As causas comuns, também designadas por causas aleatórias ou naturais, são as que dão origem a variações naturais associadas ao processo em causa. A eliminação deste tipo de causas implica normalmente investimentos na melhoria de equipamentos, matérias-primas ou formação dos colaboradores. Desde que mantidas em níveis aceitáveis, as causas comuns não afetam de maneira negativa a qualidade dos itens produzidos. As causas assinaláveis ou especiais são aquelas que não estão associadas ao processo e que se devem a uma razão específica. Exemplos de causas especiais podem ser a falta de calibração de uma máquina, a contaminação da matéria-prima, entre outros. O efeito de uma causa assinalável pode ter implicações na qualidade do produto e para que o processo seja considerado estável, devem ser tomadas medidas corretivas para a sua eliminação (Pires (2000); Requeijo (2003))

- **Amostragem**

Para se analisar a variabilidade do processo é necessário proceder-se à recolha, tratamento e análise de dados.

A recolha de dados é normalmente feita por amostragem. A amostragem consiste na recolha de parte de elementos de um conjunto. Da análise desses elementos pretende-se tirar conclusões da população.

As amostras podem ser individuais ($n=1$) ou podem conter vários elementos ($n>1$), constituindo assim, os chamados subgrupos racionais. São assim chamados, pois a sua recolha tenta seguir uma determinada lógica, isto é, os elementos que constituem cada subgrupo devem corresponder a amostras consecutivas, para se aumentar a probabilidade de variação entre subgrupos e se diminuir a possibilidade de deteção de variabilidade dentro dos subgrupos (Requeijo, 2003).

Conforme afirma Nelson (1982), citado por Requeijo (2003), um subgrupo racional é “uma amostra em que todas as suas unidades são produzidas nas mesmas condições e em que a variação observada é devida apenas ao efeito da aleatoriedade. Potenciais causas especiais de variação, como diferentes matérias primas, pessoal, condições de teste, etc., podem ocorrer entre subgrupos e não dentro do subgrupo”.

A **frequência de amostragem** corresponde ao intervalo de tempo com que são recolhidas amostras da população.

A **dimensão da amostra** tem influência na distância entre os limites de controlo e, por conseguinte, na oportunidade de detetar mudanças na estabilidade do processo (Sefik, 1998).

Tendo em conta algumas considerações, a dimensão da amostra:

- Deve ser pequena para minimizar as probabilidades de existirem causas especiais dentro da amostra;
- Grande para garantir a representatividade da população;
- Grande para que a média das amostras siga tanto quanto possível a distribuição normal;
- Grande para assegurar que haja sensibilidade necessária para a deteção de mudanças no processo;
- Pequena para garantir que os custos incorridos na recolha de dados sejam suportáveis, bem como, para facilitar a operacionalização do sistema de recolha de dados.

No controlo de variáveis contínuas é habitual utilizar-se amostras de dimensão 4 ou superior, devido à maior probabilidade das médias das amostras seguirem uma distribuição normal (Rauwendaal (1993); Requeijo (2003)).

- **Normalidade dos dados e o Teorema do limite central**

Os princípios de construção e interpretação das cartas de controlo de Shewhart consideram que os valores de X são normalmente distribuídos com média μ e σ . Portanto, em contexto de aplicação destas cartas é necessário verificar se esta condição se verifica. Para tal, podem ser usados diversos métodos, tais como o gráfico de probabilidades da Distribuição Normal, o teste do Qui-Quadrado, o Teste de Kolmogorov-Smirnov, entre outros (Requeijo, 2003). A distribuição normal, também conhecida por distribuição de Gauss, tem uma forma semelhante a um sino, apresentando simetria pela média (Figura 5) e a seguinte distribuição dos dados:

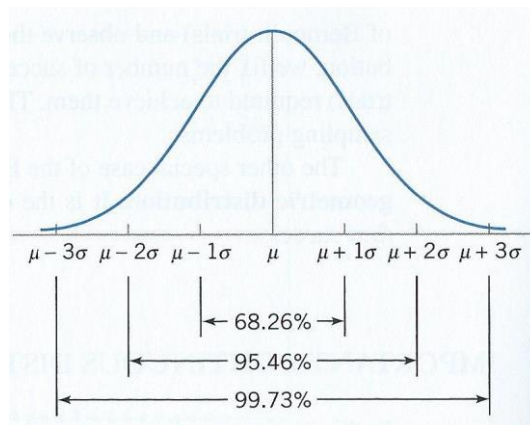


Figura 5 - Distribuição Normal (Fonte: Montgomery (2005))

- 68.26% dos valores da população situam-se entre a $\mu \pm 1\sigma$
- 95.46% dos valores da população situam-se entre a $\mu \pm 2\sigma$
- 99.73% dos valores da população situam-se entre a $\mu \pm 3\sigma$

O **teorema do limite central** defende que quanto maior o tamanho da amostra, maior é o nível de aproximação da distribuição amostral da média à distribuição normal.

A distribuição normal de uma amostra é caracterizada por dois parâmetros: (média) e s^2 (variância). A média - \bar{X} - e a s^2 são dadas pelas seguintes equações, respetivamente:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} \quad \text{(Equação 1)}$$

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

Onde:

x_i - é o valor da amostra

n - é o tamanho da amostra

k - é o número da amostra de tamanho n.

2.2.1 Cartas de Controlo

Entre as várias ferramentas utilizadas no SPC, os gráficos de controlo são considerados a ferramenta mais importante (Assaleh & Al-assaf, 2005; Sherman, 2012). Estes gráficos são utilizados para monitorizar se um processo está ou não sobre controlo estatístico e são baseados na recolha de dados sobre uma ou várias características da qualidade do processo ou produto (Kaya & Kahraman, 2011).

Os gráficos de controlo ou cartas de controlo podem ser inseridos nas seguintes categorias: **gráficos de controlo por variáveis** e **gráficos de controlo por atributos**. Os primeiros são aqueles que representam dados do tipo quantitativo, como por exemplo as dimensões de um produto, e os segundos são gráficos que representam dados do tipo qualitativo.

- **Cartas de controlo por variáveis**

As cartas de controlo por variáveis pressupõem o uso de dois tipos de gráficos para a deteção da variabilidade do processo, o gráfico das médias e o gráfico de dispersão, que neste caso pode ser o gráfico R, gráfico das amplitudes (para amostras com $n < 10$) ou gráfico s, gráfico do desvio padrão (para amostras com $n \geq 10$).

O gráfico das médias assemelha-se ao apresentado na Figura 6. Como se pode observar, os principais elementos deste gráfico são:

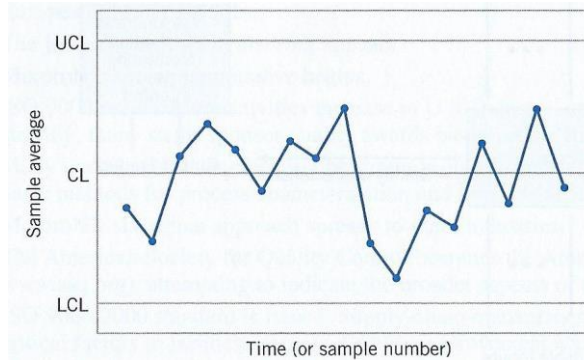


Figura 6 - Gráfico de controlo (Fonte: Montgomery (2005))

- Linha Central (LC), que corresponde ao valor médio da característica da qualidade;
- Limites de controlo, LSC (Limite Superior de Controlo) e LIC (Limite Inferior de Controlo), situados a 3 sigma da Linha Central.

Para a implementação das cartas de controlo por variáveis, distinguem-se duas fases distintas (Montgomery, 2005). Na fase I, após ser estabelecido o plano de controlo com dimensão da amostra, frequência da amostra, equipamento e método de medição, os dados são recolhidos e analisados todos de uma só vez. Desta forma, numa análise retrospectiva, os limites de controlo dos gráficos são calculados e verifica-se se o processo esteve sob controlo estatístico durante o tempo de recolha dos dados. Nesta fase de implementação de cartas de controlo, em que os parâmetros podem não ser conhecidos, os limites são calculados segundo as expressões apresentadas na Tabela 1 (Requeijo, 2003):

Tabela 1 – Limites de controlo das cartas de controlo por variáveis para parâmetros não conhecidos

| Tipo de Carta | Gráfico | LIC | LC | LSC |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Carta \bar{X} , R | Gráfico \bar{X} | $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$ | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ |
| | Gráfico R | $B_4 \bar{s}$ | \bar{R} | $D_4 \bar{R}$ |
| Carta \bar{X} , s | Gráfico \bar{X} | $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$ | $\bar{\bar{X}}$ | $D_4 \bar{R}$ |
| | Gráfico s | $B_3 \bar{s}$ | \bar{s} | $B_4 \bar{s}$ |

Caso se detete a presença de causas assinaláveis, estas devem ser investigadas e devem ser tomadas ações corretivas. Posteriormente, após deteção da causa de variação e implementação da ação

corretiva, os pontos fora de controlo são eliminados e os limites de controlo são recalculados. Após esta fase, é efetuada uma nova recolha de dados e estes são analisados segundo os limites de controlo revistos anteriormente. Estes passos são repetidos até o objetivo da fase I ser atingido, ou seja, o processo ser considerado razoavelmente estável e, assim, inicia-se a fase II.

Nesta fase, a ênfase está na monitorização do processo e, normalmente, as causas assinaláveis detetadas nesta fase devem-se a modificações na média do processo.

Na fase II, os parâmetros do processo (μ e σ^2), os limites de controlo, bem como a linha central são os calculados na fase piloto, exceto quando se altera a dimensão da amostra. Neste caso os limites devem ser recalculados com base nas expressões apresentadas na Tabela 2 (Requeijo, 2003):

Tabela 2 – Limites de controlo das cartas de controlo por variáveis para parâmetros conhecidos

| Tipo de Carta | Gráfico | LIC | LC | LSC |
|---------------------|-------------------|------------------|-------------|------------------|
| Carta \bar{X} , R | Gráfico \bar{X} | $\mu - A.\sigma$ | $B_5\sigma$ | $\mu + A.\sigma$ |
| | Gráfico R | $D_1\sigma$ | $d_2\sigma$ | $D_2\sigma$ |
| Carta \bar{X} , s | Gráfico \bar{X} | $\mu - A.\sigma$ | μ | $\mu + A.\sigma$ |
| | Gráfico s | $B_5\sigma$ | $c_4\sigma$ | $B_6\sigma$ |

As constantes que intervêm no cálculo dos limites de controlo e da linha central dependem da dimensão da amostra, podendo esta informação ser consultada no Anexo I – Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo.

- **Cartas de Controlo para Valores Individuais (X, mR)**

Existem algumas situações em que as cartas de controlo usam amostras de tamanho igual a 1 ($n=1$). De acordo com Montgomery (2005), existem algumas situações em que estas cartas são utilizadas, nomeadamente:

- Quando a tecnologia de medição/inspeção automática é utilizada, possibilitando a análise de cada unidade fabricada. Nestes casos, a tentativa de seguir a recolha de amostras para formar subgrupos racionais não é fundamentada.
- Quando a taxa de produção é lenta e o intervalo de tempo entre amostra inviabiliza o cumprimento dos pressupostos dos subgrupos racionais.

- Nos casos em que as medições diferem unicamente devido ao erro de análise, como é o caso de alguns processos químicos.
- Quando são feitas várias medições em cada unidade do produto.

Neste tipo de gráfico, a variabilidade do processo é estimada através do cálculo da amplitude móvel entre duas observações sucessivas. A amplitude móvel (AM) é dada pela seguinte equação:

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}|, \quad i = 2, \dots, k \quad \text{(Equação 3)}$$

Para um conjunto de k amostras calcula-se a média dos valores de AM através da seguinte equação:

$$\overline{AM} = \frac{AM_1 + AM_2 + \dots + AM_k}{k - 1} \quad \text{(Equação 4)}$$

Após o cálculo de \overline{AM} procede-se ao cálculo dos parâmetros dos gráficos de controlo. Assim, para o gráfico de valores individuais, os parâmetros são dados pelas seguintes equações:

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$LC = \bar{x} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad \text{(Equação 7)}$$

Quanto aos parâmetros do gráfico de controlo da amplitude, são calculados através das seguintes equações:

$$LSC = D_4 \overline{AM} \quad \text{(Equação 8)}$$

$$LC = \overline{AM} \quad \text{(Equação 9)}$$

$$LIC = D_3 \overline{AM} \quad \text{(Equação 10)}$$

À semelhança de outros gráficos de Shewhart, este tipo de gráfico pode apresentar pouca sensibilidade de deteção de pequenas ou moderadas alterações nos parâmetros. Por esta razão, são aplicadas algumas das regras apresentadas na secção 2.2.2 para deteção de padrões não aleatórios.

No caso particular deste gráfico, é importante referir que apesar deste se adaptar a situações em que a formação de subgrupos racionais seja condicionada, este poderá apresentar algumas falhas. A título de exemplo, podem surgir alertas, como os apresentados na secção 2.2.2 (séries de pontos consecutivos ou ciclos), que correspondam a falsos alarmes devido à auto correlação inerente às médias móveis.

Por este motivo, numa fase em que os procedimentos de aplicação de cartas de controlo estejam consolidados, poderá ser vantajoso transitar ou utilizar como complemento cartas de controlo mais sofisticadas, como por exemplo a Carta de Somas Acumuladas (CUSUM) ou a Carta de Média Móvel Exponencialmente Amortecida (EWMA), que alguns autores introduziram com o intuito de melhorar o desempenho das cartas de controlo (Requeijo, 2003).

2.2.2 Regras de interpretação de cartas de controlo

De acordo com Montgomery (2005), na leitura dos gráficos de controlo, para que um processo seja considerado sob controlo estatístico, todos os pontos devem estar dentro dos limites de controlo, assim como o conjunto de pontos não deve seguir formas particulares, tais como:

- 2 em 3 pontos consecutivos fora do limite 2σ ;
- 4 em 5 pontos consecutivos fora do limite 1σ ;
- 8 pontos consecutivos de um lado da linha central;
- 6 pontos consecutivos que formem uma linha crescente ou decrescente;
- 15 pontos em linha dentro do limite 1σ ;
- 14 pontos consecutivos alternando acima e abaixo da linha central;
- 1 ou mais pontos próximos de um limite de controlo.
- A presença de um padrão anormal ou não aleatório, tais como mudanças na média do processo, tendência ou periodicidade (Figura 7).

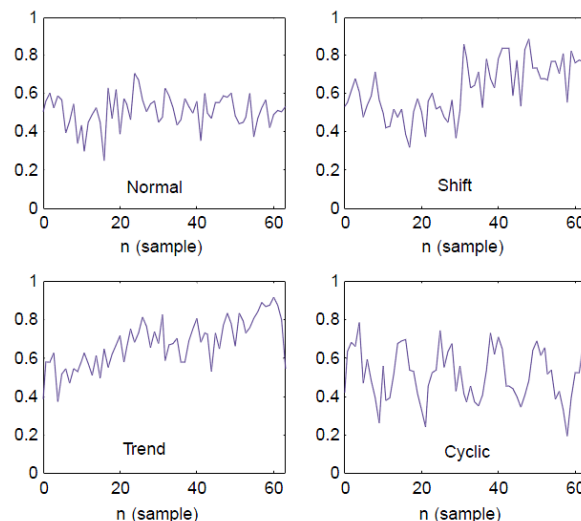


Figura 7 - Padrões de não aleatoriedade em gráficos de controlo (Fonte: Assaleh & Al-assaf (2005))

2.2.3 Estudos de capacidade do processo

Define-se capacidade do processo como a capacidade que o processo tem em responder às especificações do cliente.

Os estudos de capacidade de processo sucedem-se à aplicação de cartas de controlo e a realização destes depende da validação positiva de que o processo está sob controlo estatístico.

Destes estudos resultam os índices de capacidade de processo, que são medidas numéricas que relacionam aspetos inerentes ao cumprimento dos limites de especificação.

Vários índices de capacidade de processo podem ser aplicados, tais como C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pmk} e C_a , porém os dois primeiros são os que são mais utilizados.

O índice C_p é definido como índice de precisão e é dado pela seguinte expressão:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{(Equação 11)}$$

Em que:

σ é o desvio padrão do processo

USL – Upper Specification Limit

LSL – Low Specification Limit

Na Tabela 3 podem ser vistas as condições de interpretação dos valores de C_p .

Tabela 3 – Interpretação do valor de C_p

| Valor do Índice de Capacidade | Processo |
|-------------------------------|-----------|
| <1 | Incapaz |
| 1 a 1,33 | Aceitável |
| >1,33 | Capaz |

Contudo, o C_p não tem em conta a centragem do processo, ou seja, não tem em conta a localização da média em relação aos limites de especificação. Para tal, foi adotado o índice C_{pk} , que é dado pela seguinte expressão:

$$C_{pk} = \min \{C_{pl}, C_{pu}\} \quad \text{(Equação 12)}$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad \text{(Equação 13)}$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad \text{(Equação 14)}$$

Em suma, o C_p relaciona a dispersão observada no processo com a amplitude dos limites de especificação para um processo idealmente centrado e o C_{pk} complementa o estudo de capacidade, introduzindo a noção de centragem da média em relação aos limites do processo (Kaya & Kahraman, 2011). Esta relação é apresentada na Figura 8.

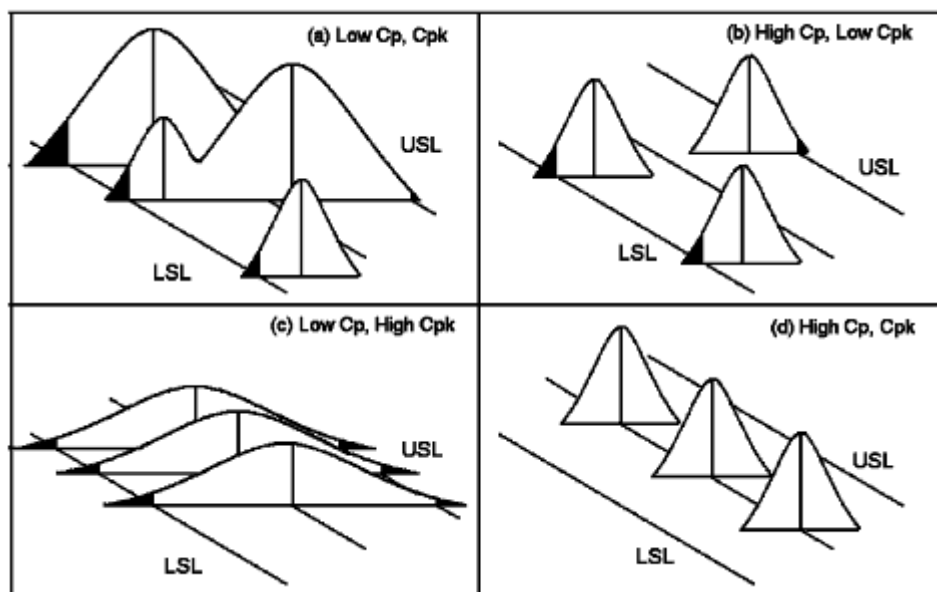


Figura 8 – Relação entre Cp e Cpk (Fonte: Srikaeo, Furst, & Ashton (2005))

2.2.4 Abordagens de Implementação do CEP

De acordo com Antony (2003), o sucesso da implementação do CEP não se resume à aplicação de gráficos de controlo para análise da variabilidade do processo. Os gráficos de controlo, apesar de indicarem se um processo está ou não sob controlo estatístico, não indicam as causas de instabilidade do processo.

Na sequência da análise efetuada pelo autor às metodologias sugeridas por Oakland (1999), Watson (1998), Kumar e Motawani's (1996) e Does et al.'s (1997), o autor defende que antes de delinear qualquer metodologia, devem-se determinar os principais ingredientes que influenciam o sucesso da aplicação do CEP. Este refere que o sucesso da implementação do controlo estatístico do processo assenta em quatro componentes chave: apoio e compromisso da gestão de topo, competências da equipa de engenharia, treino e formação para uso de ferramentas utilizadas no CEP e trabalho em equipa (Figura 9).

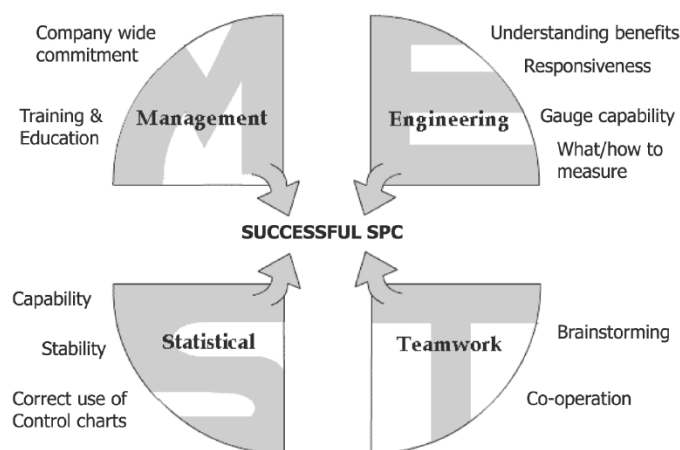


Figura 9 – Pré requisitos que influenciam sucesso do CEP (Fonte: Antony & Taner (2003))

Das quatro metodologias analisadas por Antony (2003), a metodologia de Does et al. (1997) é referida como a mais abrangente.

O modelo propõe a divisão do processo de implementação sob duas perspetivas, organizacional e metodológica. No âmbito organizacional são abordadas as seguintes questões como o apoio da gestão, a definição da equipa responsável pelo projeto, entre outros aspetos. Quanto à parte metodológica, esta é constituída por dez passos:

1. Descrição do Processo: o principal objetivo desta etapa é descrever o processo atual, especificando cada etapa do mesmo. Para o efeito poderá ser vantajosa a utilização do fluxograma ou outras ferramentas de fácil interpretação visual.

2. **Análise de Causa-Efeito:** nesta etapa pretende-se determinar as principais causas dos problemas e os seus efeitos nas várias fases do processo. Recomenda-se a utilização de diagramas de Ishikawa para expor as potenciais causas dos problemas, bem como a utilização da análise de Pareto para estabelecer prioridades de análise.
3. **Análise do Risco:** consiste na determinação do nível do risco das relações causa-efeito através da utilização do FMEA ou técnicas semelhantes. O nível do risco é determinado com base na frequência de ocorrência da causa, na severidade do efeito da causa e com base no grau de facilidade na deteção da causa e reparação do efeito.
4. **Implementação de Melhorias:** nesta fase procura-se fomentar a geração de sugestão de melhoria para minimizar o risco das relações causa-efeito mais significativas estabelecidas na etapa anterior.
5. **Definição das características a medir:** os objetivos desta fase passam pela seleção dos parâmetros de controlo do processo que devem ser analisados, bem como pela definição dos planos de controlo.
6. **Estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade:** estes estudos servem para verificar se o sistema de medição selecionado para monitorizar as características do produto ou processo é adequado.
7. **Gráficos de Controlo:** esta etapa consiste na implementação dos gráficos de controlo e, conseqüentemente, na avaliação da estabilidade do processo.
8. **Plano de resolução de problemas:** como forma de complemento aos gráficos de controlo, deve ser estabelecido um plano de ações que devem ser tomadas perante a deteção de situações fora do controlo.
9. **Estudo de capacidade do processo:** caso o processo esteja sob controlo estatístico, os índices de capacidade de processo podem ser calculados.
10. **Certificação:** nesta etapa avaliam-se os resultados do projeto e estudam-se formas de assegurar a continuidade do controlo do processo e da “filosofia” de melhoria contínua.

Este *framework* apresentado por Does et al. (1997) foi aplicado com sucesso em diversas empresas, desde empresas de produção de produtos simples até empresas com produção por pequenos lotes de produtos complexos. Porém, estes autores realçam que a metodologia pode ser adaptada conforme os sistemas produtivos em causa. Empresas cujo processo ou produtos são alterados frequentemente

com introdução de inovações ou empresas cuja produção é feita em pequenos lotes são dois exemplos referidos pelos autores.

3. EMPRESA

A Solidal, S.A é uma empresa pertencente ao Grupo Quintas, que se dedica ao fabrico de cabos elétricos desde 1970. Porém, só em 1987 a Solidal foi adquirida pelo Grupo, que já possuía uma empresa da mesma área de negócio – a empresa Quintas & Quintas.

As duas empresas passaram a estar implantadas no mesmo espaço físico (Figura 10) desde 2001, na cidade de Esposende, ao abrigo de um plano de reestruturação estratégico e hoje empregam cerca de 300 pessoas, constituindo um dos maiores empregadores da indústria transformadora local.

Ao longo dos anos, as duas empresas conquistaram um bom posicionamento no mercado onde se inserem, sendo caracterizadas pela qualidade dos seus produtos e a aposta contínua na inovação em produtos e processos.



Figura 10 – Instalações Fabris da Solidal e Quintas & Quintas S.A.

3.1 Produtos, Mercados e Clientes

As duas empresas no seu conjunto possuem um sistema de produção que abrange a maioria das operações necessárias à fabricação de cabos à base de alumínio (Al) e cobre (Cu).

A gama de produtos disponibilizada pelo conjunto das duas empresas pode ser dividida em duas categorias: os cabos nus (Figura 11) e os cabos isolados (Figura 12).



Figura 11 – Cabos Nus



Figura 12 – Cabos Isolados

Os cabos nus destinam-se ao transporte de energia elétrica por via aérea e podem ser divididos nas seguintes subfamílias:

- Cabos ACSR (*Aluminium Conductors Steel Reinforced*);
- Cabos AAC (*All Aluminium Conductors*);
- Cabos AAAC (*All Aluminium Alloy Conductors*);
- Cabos AACSR (*Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced*);
- Cabos ACAR (*Aluminium Conductors Alloy Reinforced*);
- Cabos OPGW.

Quanto aos cabos isolados, podem ter como destino o transporte aéreo ou subterrâneo de energia elétrica. Os cabos isolados podem ser divididos em cabos de baixa, média ou alta tensão. Estes dois últimos são os tipos de cabos em que o isolamento é efetuado na linha de catenária de vulcanização.

Os cabos de baixa tensão (até 1kV) podem ser constituídos por almas condutoras sólidas, multifilares, redondas ou sectoriais em alumínio ou almas multifilares em liga de alumínio.

Os cabos isolados de média tensão (6 a 36 kV) podem ser constituídos por almas sólidas (de Alumínio) ou multifilares (de Alumínio/Cobre), isoladas a dielétrico sólido extrudido, em dupla ou tripla extrusão simultânea.

Os cabos isolados de alta tensão (até 220 kV) são constituídos por almas condutoras multifilares de alumínio ou cobre isoladas a dielétrico sólido extrudido, em dupla ou tripla extrusão simultânea.

A Solidal e Quintas & Quintas têm estabelecido, ao longo dos anos, relações comerciais com os principais intervenientes de energia elétrica, nomeadamente clientes institucionais e instaladores do Sudoeste Europeu.

Em regra, o perfil de clientes da empresa tem-se revelado estável e é caracterizado pela preferência por relações comerciais de longo prazo. Desta forma, a empresa não está tão dependente de segmentos de mercado em que o principal fator de competitividade seja o preço.

3.2 A Qualidade na Solidal

A Solidal e Quintas & Quintas estão inseridas num mercado extremamente exigente em relação à qualidade dos produtos e serviços prestados.

A duas empresas possuem um Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança, certificado em Portugal pela APCER e em Espanha pela AENOR, nas seguintes áreas:

- Gestão da Qualidade pela norma ISO 9001:2008;
- Gestão Ambiental pela norma ISO 14001.
- Gestão da Segurança pelas normas: OHSAS 18001:2007/ NP 4397:2008

Segundo se pode ler no Manual da Qualidade da Solidal, o Sistema Integrado da Qualidade, Ambiente e Segurança adotado pelas duas empresas “tem como missão ajudar a empresa a identificar e ir ao encontro das necessidades dos clientes e de outras partes interessadas, para atingir vantagens competitivas”(Solidal, 2012).

3.2.1 Modelo de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança

O Sistema Integrado da Qualidade, Ambiente e Segurança adotado segue o modelo de gestão por processos. Os processos identificados na empresa são:

- **Processo de Melhoria** – o objetivo deste processo é definir os procedimentos utilizados na monitorização e na revisão do Sistema de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança, bem como no conseqüente processo de melhoria.
- **Processo de Gestão de Recursos** – entende-se por PGR todos os processos que englobam a organização dos diferentes fluxos de recursos vitais para o desenvolvimento das várias atividades no seio de uma empresa.
- **Processos de Realização** – englobam todos os processos inerentes à gestão da cadeia de abastecimento, desde a deteção da necessidade do cliente até à sua satisfação.
- **Processo de Controlo** – têm como objetivo definir os procedimentos adequados à recolha e tratamento da informação necessária para o apuramento dos indicadores de desempenho pré-estabelecidos.

3.2.2 Controlo da Qualidade

Para além do Auto-Controlo, em que se verificam as condições de conformidade com a normalização aplicada aos produtos em curso de fabrico, os cabos produzidos são submetidos a testes no Laboratório de Ensaios Finais. Nesta secção da empresa são efetuados diversos tipos de ensaios, que podem ser distinguidos da seguinte forma:

- Ensaio de Protótipos – este tipo de ensaios tem como objetivo a aprovação dos cabos para fabrico posterior. Normalmente, este tipo de ensaios não é exigido para cada fornecimento, mas sim a cada renovação contratual com o cliente.
- Ensaios de controlo – podem ser efetuados na totalidade dos cabos produzidos - ensaios de rotina – ou sob uma percentagem de cabos produzidos – ensaios por amostra.
- Ensaios de receção – os ensaios de receção são ensaios solicitados pela entidade compradora antes de um fornecimento.

Sumariamente, estes ensaios podem ser categorizados em:

- Ensaios de verificação de disposições construtivas e de características dimensionais, tais como número e dimensão de fios da alma condutora, espessuras das camadas, diâmetro exterior, excentricidade, entre outros parâmetros.
- Ensaios de verificação das características mecânicas, físicas e químicas. Os ensaios a características mecânicas são, por exemplo, ensaios de alongamento à rutura ou resistência aos choques. Quanto aos ensaios a características físicas e químicas podem ser ensaios de resistência às intempéries, comportamento na presença do fogo, entre outros.
- Ensaios de verificação das características elétricas, como por exemplo: resistência da alma condutora ou ensaios a rigidez dielétrica, entre outros.

3.3 Processo Produtivo

O grupo Quintas & Quintas no seu conjunto integra grande parte das operações necessárias ao fabrico de cabos elétricos de almas condutoras de alumínio, inclusive a fusão de lingote de alumínio.

Quanto maior a complexidade da constituição do cabo elétrico em causa, mais operações são envolvidas. No fabrico de cabos isolados de média tensão de alma sólida (gama de fabrico analisada no decorrer da dissertação) são necessárias as seguintes operações.

- **Fundição**

Nesta fase o lingote de alumínio de 99,7% de pureza é fundido a altas temperaturas. Para o efeito são utilizados 3 fornos, um forno de fusão e dois fornos de manutenção.

Tal como elucidam as suas designações, no forno de fusão (Figura 13) o lingote de alumínio passa a alumínio líquido que é posteriormente vazado para os fornos de manutenção, responsáveis pela armazenagem do alumínio e manutenção do seu estado físico.



Figura 13 – Forno de Fusão

- **Vazamento e Laminagem**

O alumínio fundido é vazado dos fornos de manutenção para uma rede de vazamento que alimenta o laminador de forma contínua.

A máquina de vazamento é constituída por uma roda de vazamento em cobre, que possui uma concavidade com secção trapezoidal no seu perímetro exterior, para onde é escoado o alumínio fundido. Com ajuda de uma fita que pressiona o perímetro exterior da roda, é completado o molde onde se dá a solidificação do alumínio fundido, resultando assim um varão de alumínio de secção reta trapezoidal.

O varão de alumínio alimenta direta e continuamente o laminador (Figura 14), que é composto por 13 caixas de laminagem acionadas por um caixa redutora única. O número de passagens/laminadores, bem como o seu tipo determinam então as dimensões e secções do fio máquina resultante desta operação.



Figura 14 - Laminador

- **Trefilagem**

Nesta operação a secção do fio máquina resultante da laminagem é reduzido através da sua passagem por fieiras de trefilagem submersas em óleo. A limpeza do fio é garantida pela passagem na fieira final que retém o óleo da trefilagem. No caso da alma sólida, que constitui o cabo em estudo no projeto piloto, a trefilagem é efetuada numa máquina específica para o efeito.

- **Recozimento**

Conforme a utilização posterior do fio máquina resultante da fase anterior, os rolos de fio máquina podem ter de ser recozidos numa estufa (Figura 15) durante um determinado período de tempo. Em resultado desta operação obtém-se o fio máquina de alumínio em melhores condições de condutividade e ductilidade.



Figura 15 - Estufa de Recozimento

- **Isolamento**

A alma redonda compactada resultante da fase anterior é isolada numa linha catenária de vulcanização contínua, que é composta por três pisos.

Resumidamente, nesta linha dá-se o processo de tripla extrusão simultânea (Figura 16), seguido pelo processo de reticulação. A reticulação dos cabos isolados de MT e AT em PEX é efetuada, numa primeira fase, na catenária com atmosfera inerte de azoto sobreaquecido (Figura 17) e numa segunda fase num tubo com água ou azoto, conforme se trate de MT ou AT.



Figura 16 – Cabeça de Extrusão Tripla



Figura 17 – Catenárias de Vulcanização

- **Aplicação de Ecrã Metálico**

Consiste na aplicação de uma camada de fios de cobre e/ou fita de cobre, que serão a rede de escoamento de corrente elétrica no caso de curto-circuito (Figura 18). Os fios e fitas de cobre ou alumínio utilizados para este efeito podem apresentar várias configurações.



Figura 18 – Aplicação de Ecrã Metálico

- **Embainhamento**

Consiste na colocação de uma bainha externa de material termoplástico (Figura 19) cuja função principal é a proteção mecânica. Esta bainha é arrefecida com água aquecida na primeira caleira e com água à temperatura ambiente numa segunda caleira.



Figura 19 – Linha de Extrusão de Aplicação de Bainhas

4. ESTUDO DE CASO: MELHORIA DA QUALIDADE DE PROCESSOS DE EXTRUSÃO NA INDÚSTRIA DE CABOS ELÉTRICOS

4.1 Produtos em estudo

Na seleção do produto em estudo foram considerados os seguintes critérios: quantidade de cabo encomendado, frequência de produção e tipo de relação da entidade compradora com a empresa, ou seja, se o produto encomendado faz parte de uma encomenda pontual ou de um contrato a médio/longo prazo.

Assim, o produto selecionado corresponde a cerca de 5% da produção anual de 2012 da gama de média tensão e a sua frequência de produção é mensal, dado que o seu abastecimento faz parte de um contrato a longo prazo.

O produto em estudo corresponde ao cabo monopolar que compõe o cabo tripolar da Figura 20. Este cabo é composto por uma alma sólida, é dimensionado para uma tensão de 6,35/11kV e está inserido na família dos cabos de alumínio de média tensão subterrâneos. Os elementos que constituem o cabo podem ser visualizados na Figura 20, sendo que as camadas 2, 3, 4 e 7 são aplicadas nos processos de extrusão em estudo.

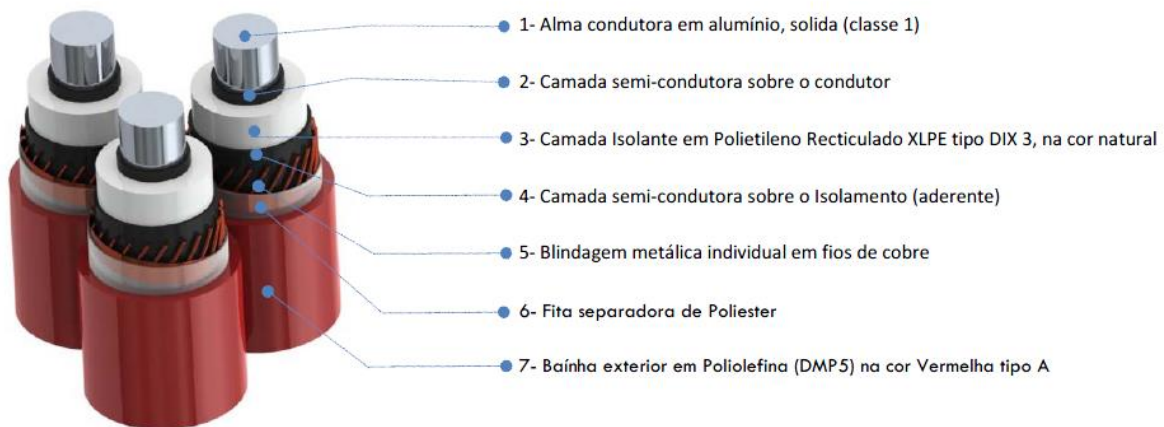


Figura 20 - Composição cabo em estudo

4.2 Caracterização geral do processo de extrusão

A extrusão é um processo de produção contínua de produtos plásticos, tais como tubo, folha, fibras, perfis, entre outros (Rauwendaal, 1993).

O isolamento de cabos elétricos, bem como a aplicação de bainhas externas em cabos elétricos são dois exemplos de processos de extrusão. Apesar de serem os dois processos de extrusão, são diferentes em alguns aspetos, que serão abordados numa fase posterior deste trabalho.

Assim, neste subcapítulo, o principal foco será a caracterização geral do processo de extrusão, no que diz respeito aos componentes da máquina e a explicação do processo em si.

4.2.1 Principais componentes de uma extrusora

As extrusoras mais simples são as de fuso único como a da Figura 21 e possuem os seguintes componentes:

- **Fuso:** é um cilindro com uma ou mais espiras em forma de hélice à sua volta;
- **Cilindro/camisa:** o fuso localiza-se dentro do cilindro/camisa, mas com um pequeno espaço entre os dois componentes;
- **Tremonha:** é o alimentador de matéria-prima e tem a forma de um funil;
- **Die:** é uma ferramenta colocada no final do fuso, mais concretamente na cabeça de extrusão, cuja secção transversal dá forma ao material extrudido;
- **Sistema de acionamento do fuso:** é composto por um motor e uma caixa redutora de velocidade;
- **Sistema de aquecimento e refrigeração:** o material granulado transforma-se em material fundido devido ao sistema de aquecimento da camisa;
- **Instrumentos e controlo do sistema:** dizem respeito aos sensores e mecanismos de regulação de parâmetros de produção, tais como pressão e temperaturas dos componentes da extrusora.

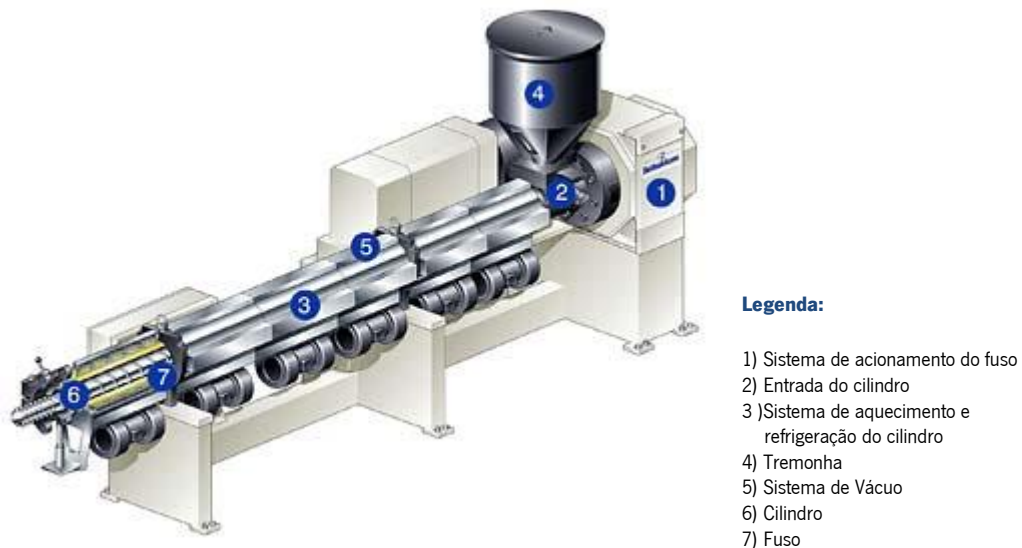


Figura 21 - Extrusora (Adaptado de Reifenhäuser(2012))

De uma forma resumida, o fuso roda dentro de um cilindro (camisa), acionado por um motor e uma caixa redutora de velocidade. A matéria-prima, em forma de polímero granulado, cai da tremonha de alimentação sobre o fuso, concretamente entre a parede externa do fuso e a parede interna do cilindro. O sistema de aquecimento e refrigeração permite regular a temperatura ao longo do cilindro de extrusão, para que a matéria-prima esteja fundida quando chega à cabeça de extrusão, onde é conferida a forma da secção transversal formada pelas ferramentas da cabeça.

Nas linhas de extrusão para o isolamento e aplicação de bainha externas de cabos, o sistema de vácuo restringe-se à cabeça de extrusão, sendo relativamente diferente do da Figura 21.

Para o isolamento e aplicação de bainhas externas de cabos são utilizadas cabeças de extrusão de alimentação lateral como a da Figura 22.

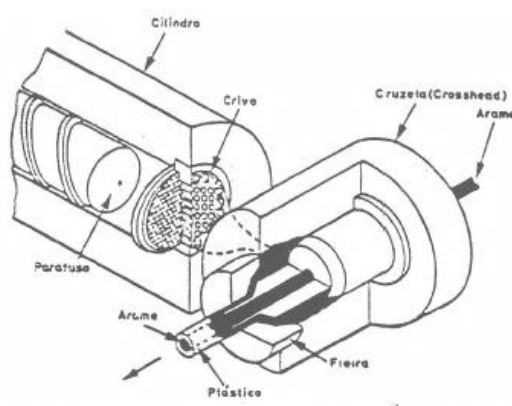


Figura 22 – Cabeça de extrusão com alimentação lateral (Fonte: IEP (1997))

As ferramentas da cabeça de extrusão são formadas pelo conjunto de duas ferramentas, o *point* e *die*. O *point* é uma ferramenta colocada na cabeça de extrusão, em forma de funil, que guia o cabo até à saída da cabeça e, em conjunto com o *die*, formam a secção transversal que dá forma ao material extrudido.

4.2.2 Processo de Extrusão I: Isolamento de Condutores Elétricos

O isolamento de cabos de média tensão é efetuado na linha catenária de vulcanização (Figura 23). Esta linha permite isolar condutores de alumínio ou cobre com secções de 25 a 2000 mm².

O processo de isolamento dá-se na cabeça de tripla extrusão, onde são aplicados em simultâneo as três camadas de isolamento: semicondutor interior, isolante e semicondutor exterior. Porém, para garantir que o isolamento do cabo seja um processo contínuo, a linha possui um conjunto de dispositivos auxiliares, nomeadamente:

- Desbobinador;
- Acumulador de entrada para alma;
- Arrastador (rotativo) de entrada;
- Cabeça de extrusão tripla;
- Três extrusoras (1 extrusora por componente);
- Equipamento para medição de espessuras por raio X;
- Tubo de vulcanização;
- Tubo de refrigeração;
- Roda de reenvio;
- Arrastador auxiliar;
- Dois bobinadores.

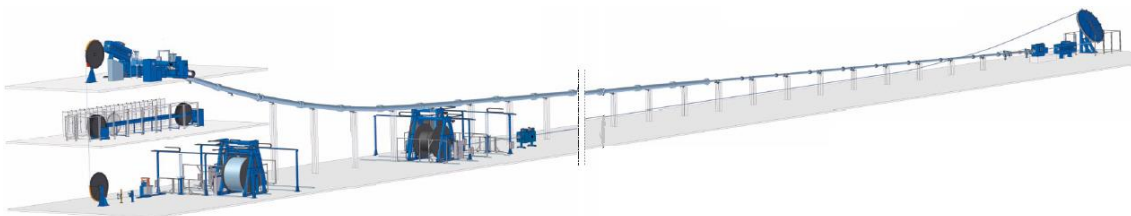


Figura 23 – Linha de Isolamento de Cabos Elétricos de MT e AT (Fonte: Troester (N.D.))

O processo de isolamento de cabos elétricos de média e alta tensão é constituído por vários fatores que interferem com o controlo do processo. O fluxograma que se segue (Figura 24) apresenta as fases que compõem o processo em questão, juntamente com os parâmetros de controlo do processo referentes a cada uma das fases.

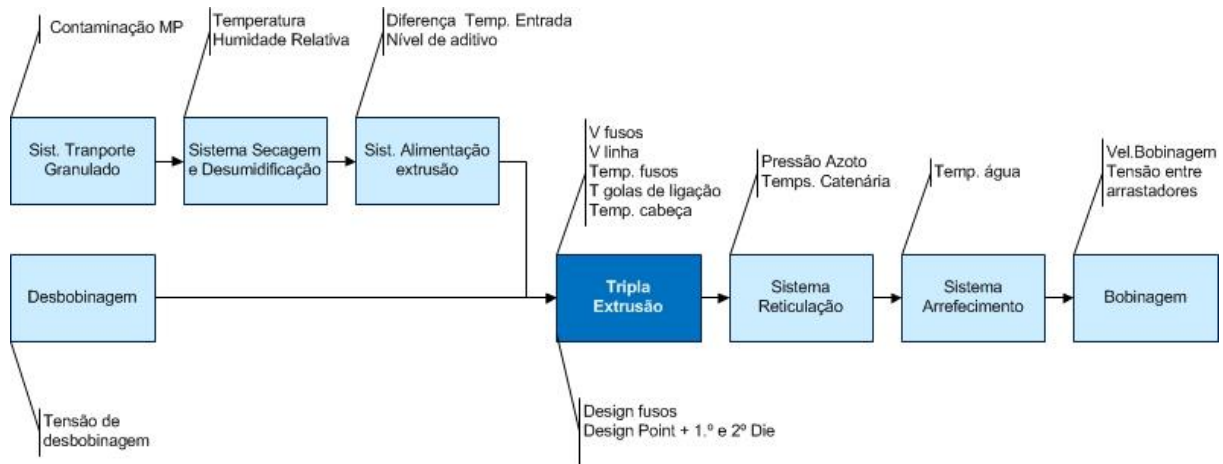


Figura 24 – Variáveis de Controlo do Processo de Isolamento

Assim, o processo inicia com o desenrolamento da alma, que é por sua vez encaminhada para o acumulador de entrada. Este acumulador de entrada é essencial para que o processo não tenha que ser interrompido numa troca de bobina no desenrolador.

Com a ajuda de um arrastador, o cabo é dirigido para a cabeça de extrusão, onde se dá a tripla extrusão das camadas de isolamento, nomeadamente: semicondutor interior, isolante e semicondutor exterior.

Cada matéria-prima é fundida na respetiva extrusora, totalizando assim, 3 extrusoras. As matérias-primas são acondicionadas em salas situadas num piso imediatamente acima do piso onde está localizada a cabeça de extrusão, nas condições de temperatura e humidade requeridas para o efeito, sendo o seu transporte para as extrusoras por gravidade.

Após a cabeça de extrusão, está instalado um sistema de medição de espessuras por raio X, possibilitando o controlo em tempo real das espessuras e centragem das camadas de isolamento (semicondutoras e isolante). É de salientar que as espessuras medidas neste equipamento não correspondem às espessuras finais do cabo, na medida em que as camadas extrudidas estão sujeitas a um determinado fator de retração durante o seu arrefecimento.

O cabo passa para a zona de vulcanização do tubo da catenária. Numa primeira fase, correspondente a 61 m de comprimento, o cabo é reticulado numa atmosfera de azoto sobreaquecido. Numa segunda

fase, o cabo é sujeito a uma refrigeração, por água ou azoto, durante 89 metros. Por fim, passa pelo arrastador de saída, invertendo o seu sentido na roda de reenvio e, com ajuda do arrastador auxiliar de saída, o cabo isolado é conduzido para o bobinador.

4.2.3 Processo de Extrusão II: Embainhamento

O processo de embainhamento é assim intitulado por ser o processo onde se efetua a aplicação de uma bainha intermédia ou externa de composto de polímero de PVC ou PE extrudido. A bainha exterior tem como finalidade promover uma barreira mecânica ao cabo na colocação ou exploração do cabo. A par desta função, as bainhas podem ter características suplementares, nomeadamente: proteção contra chama, estanquicidade, etc.

Nos cabos da gama em estudo – Cabos MT – este processo é efetuado numa linha de extrusão de fuso único. Esta linha é composta pelos seguintes equipamentos:

- Um desboninador, que desenrola o cabo a embainhar;
- Dois arrastadores de lagartas;
- Uma extrusora;
- Uma cabeça de extrusão simples;
- Caleira de refrigeração a água aquecida;
- Caleira de refrigeração a água fria;
- Dois bobinadores, de recolha do cabo a embainhar;
- Sistema de controlo e regulação automática da espessura do isolamento.

O processo de embainhamento de condutores elétricos apresenta um grau de complexidade menor do que o processo anterior. Algumas das diferenças entre estes dois processos são o número de extrusoras a controlar, bem como o sistema de alimentação de granulado e o sistema de arrefecimento.

O fluxograma apresentado na Figura 25 ilustra a ordem de acontecimentos no processo de embainhamento e associa a, cada uma das fases, os parâmetros do processo.

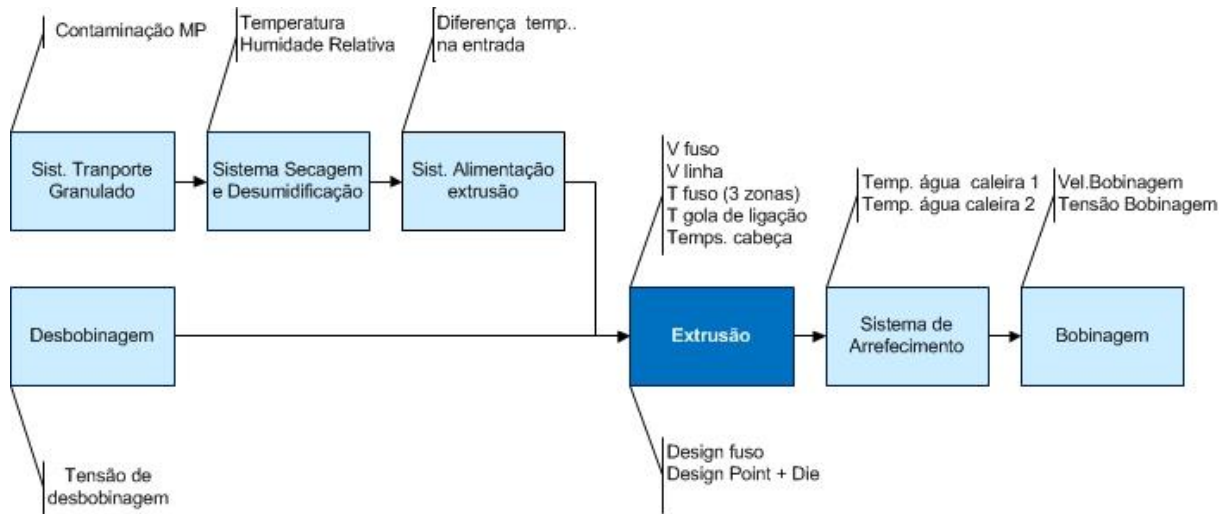


Figura 25 - Variáveis de Controlo do Processo de Embainhamento

No processo de embainhamento, o sistema de alimentação de matéria-prima é feito por aspiração, ou seja, a MP, em forma de grânulos, é aspirada diretamente da embalagem até ao silo situado numa plataforma acima da extrusora. O silo é mantido a uma determinada temperatura e daqui a matéria-prima segue para a tremonha e posteriormente, para o fuso.

Relativamente ao transporte de cabo, este é desenrolado com recurso a um desbobinador e a um arrastador de entrada, com roletes de guiamento ajustáveis. Desta forma, é garantida a centragem adequada na passagem entre as correias (lagartas) do arrastador.

Assim, o cabo é encaminhado para a cabeça de extrusão, na qual é efetuado o embainhamento propriamente dito. A cabeça encontra-se emparelhada à extrusora para que o material fundido alimentado por esta circule na cabeça e seja extrudido sobre o cabo à saída da cabeça.

Uma vez extrudida a bainha, procede-se ao seu arrefecimento, primeiro através da passagem do cabo embainhado na caleira de refrigeração de água quente e depois na caleira de refrigeração de água à temperatura ambiente.

O cabo é depois encaminhado para o bobinador com ajuda do arrastador de saída. Salienta-se que a regulação da tensão do cabo, bem como a velocidade linear, são garantidos pelo funcionamento síncrono entre o arrastador de entrada e o arrastador de saída.

O sistema de regulação de espessuras é composto por dois aparelhos de medição automática. O primeiro encontra-se entre o arrastador de entrada e a cabeça de extrusão, de forma a medir o

diâmetro antes da aplicação da bainha. O segundo mede o diâmetro do cabo a frio, estando situado entre a primeira caleira quente e a segunda caleira fria.

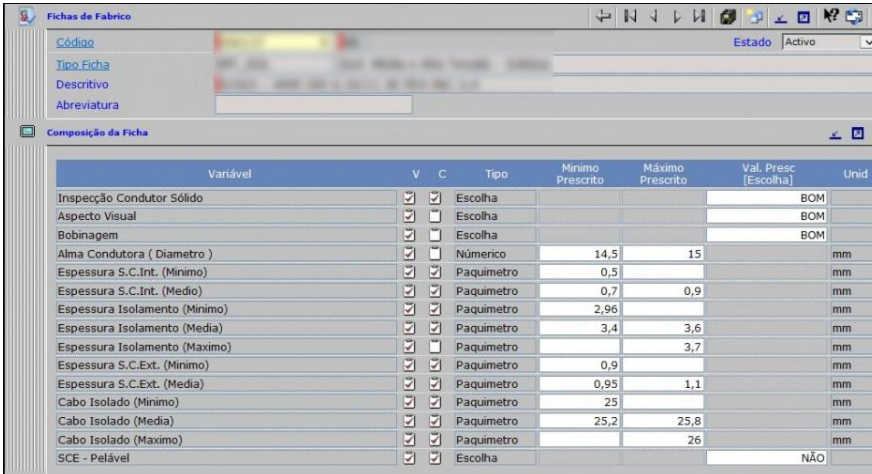
4.3 Análise ABC dos defeitos

A análise ABC dos defeitos teve como objetivo evidenciar os tipos de defeitos mais recorrentes nos processos de extrusão em estudo – Isolamento e Embainhamento.

Esta análise teve como base o histórico de 2012 dos dados de Auto Controlo das produções do cabo em estudo.

Relativamente aos parâmetros do Auto Controlo, estes são registados embalagem a embalagem e diferem consoante o tipo de processo em causa. Podem encontrar-se dois tipos de parâmetros no auto controlo, parâmetros de natureza qualitativa e parâmetros de natureza quantitativa.

No caso do processo de Isolamento, os parâmetros que são preenchidos a cada bobina de recolha produzida podem ser visualizados na Figura 26. Os parâmetros de AC são maioritariamente para controlo dimensional, com a exceção da “Inspeção Condutor Sólido”, “Aspetto visual”, “Bobinagem” e tipo de semiconductor exterior (“SCE – Pelável”).



| Variável | V | C | Tipo | Mínimo Prescrito | Máximo Prescrito | Val. Presc [Escolha] | Unid |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|------------------|------------------|----------------------|------|
| Inspeção Condutor Sólido | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Escolha | | | BOM | |
| Aspetto Visual | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Escolha | | | BOM | |
| Bobinagem | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Escolha | | | BOM | |
| Alma Condutora (Diâmetro) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Númeroico | 14,5 | 15 | | mm |
| Espessura S.C.int. (Mínimo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 0,5 | | | mm |
| Espessura S.C.int. (Medio) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 0,7 | 0,9 | | mm |
| Espessura Isolamento (Mínimo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 2,96 | | | mm |
| Espessura Isolamento (Media) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 3,4 | 3,6 | | mm |
| Espessura Isolamento (Maximo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | | 3,7 | | mm |
| Espessura S.C.Ext. (Mínimo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 0,9 | | | mm |
| Espessura S.C.Ext. (Media) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 0,95 | 1,1 | | mm |
| Cabo Isolado (Mínimo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 25 | | | mm |
| Cabo Isolado (Media) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 25,2 | 25,8 | | mm |
| Cabo Isolado (Maximo) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | | 26 | | mm |
| SCE - Pelável | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Escolha | | | NÃO | |

Figura 26 – Display Auto Controlo da Operação de Isolamento

Através da análise da Figura 26, pode constatar-se que o controlo dimensional da espessura de cada camada inclui o registo da espessura média, da espessura máxima e mínima do conjunto de pontos lidos (seis pontos).

Assim, após análise ABC dos defeitos detetados em Auto Controlo no processo de Isolamento resultou o seguinte diagrama de Pareto.

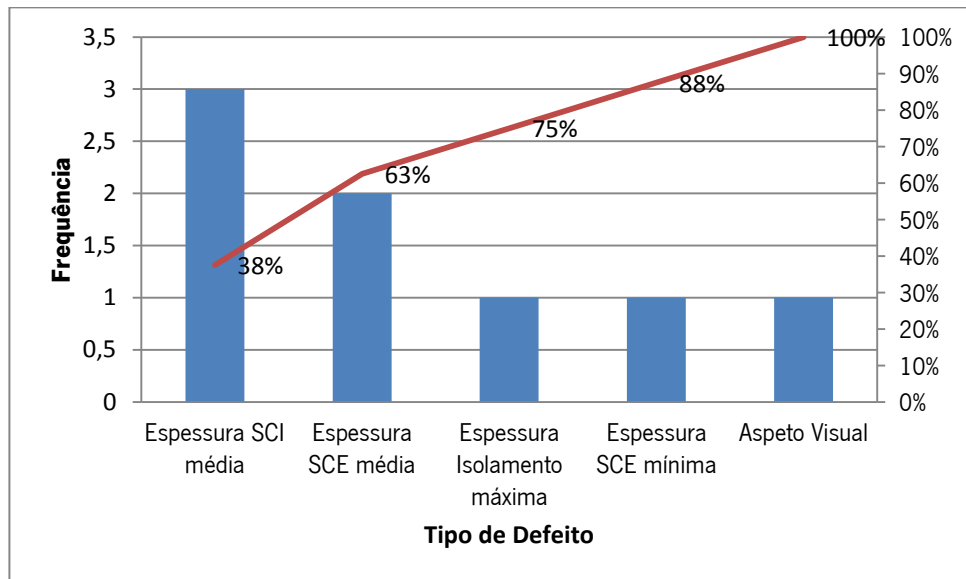


Gráfico 1 – Diagrama de Pareto dos defeitos da operação de isolamento

Da análise do Gráfico 1, pode-se concluir que os defeitos relacionados com características dimensionais são os mais frequentes.

Estes são os resultados das notificações registadas pelos operadores em AC. Porém, a nível de resultado global de embalagens em curso de fabrico, todas as embalagens foram aprovadas. Tal se deve ao facto dos defeitos registados não terem efeito no bom funcionamento do cabo, pois em termos dimensionais, na maioria dos casos, a espessura das camadas excedia o limite superior e não o contrário. Assim sendo, considera-se que a percentagem de embalagens rejeitadas em AC é de 0%.

Relativamente aos parâmetros registados na fase de embainhamento, estes podem ser visualizados na Figura 27. Existem parâmetros que não são medidos para aferição da qualidade do produto, mas sim para orientação de questões operacionais, tais como registo da metragem inicial e metragem final e identificação de fases que são *inputs* de processos de transformação a jusante.

| Variável | V | C | Tipo | Mínimo Prescrito | Máximo Prescrito | Val. Presc [Escolha] | Unid |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------|------------------|----------------------|------|
| Aspecto Visual | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Escolha | | | | BOM |
| Bobinagem | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Escolha | | | | BOM |
| Marcação (Mensagem) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Escolha | | | | BOM |
| Spark Tester (Tensao de Ensaio) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Númeroico | 15 | | | kV |
| Spark Tester (Nro Descargas) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SparkTester | | 0 | | un |
| Massa Linear | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Númeroico | | | | g/m |
| Diametro Medio | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 32 | 34 | | mm |
| Espessura (Mínima Pontual) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 1,51 | | | mm |
| Espessura (Média) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Paquimetro | 1,9 | 2 | | mm |
| Marcação da Metragem (Inicial) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Númeroico | | | | m |
| Marcação da Metragem (Final) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Númeroico | | | | m |
| Identificação de fases | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Escolha | | | | |

Figura 27 – Display Auto Controlo da Operação de Embainhamento

Relativamente ao apuramento dos defeitos ocorridos no ano 2012 na fase de Embainhamento, resultou o seguinte diagrama de Pareto.

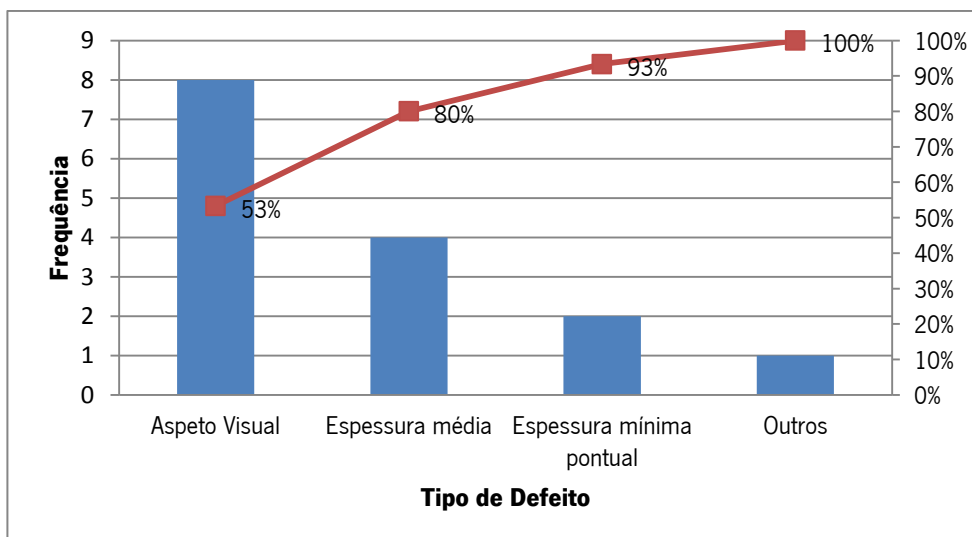


Gráfico 2 - Diagrama de Pareto dos defeitos de Embainhamento

Da análise do Gráfico 2 verifica-se que cerca de 53% pertencem à categoria papos. Os papos correspondem a abcessos na superfície extrudida. Estes podem ser ocios ou ser resultado de levantamento de fios do ecrã metálico aplicado no processo de fabrico que antecede o embainhamento.

Relativamente ao resultado global dos lotes fabricados, 9 embalagens foram rejeitadas em curso de fabrico, que num universo de 114 lotes avaliados em AC se traduz em cerca de 8% de percentagem de defeituosos. As estimativas do custo destes defeitos para a empresa são apresentadas no subcapítulo que se segue.

4.3.1 Análise crítica do apuramento dos defeitos críticos dos processos

O facto de o AC ser integrado na base de dados do sistema de pilotagem de produção e o seu preenchimento ser por digitação torna mais fácil a operacionalização deste procedimento. Esta é uma ferramenta poderosa para servir de base na análise e diagnóstico das não conformidades detetadas em curso de fabrico. Porém, é de salientar que a subjetividade de cada operador na avaliação e interpretação dos parâmetros do auto-controlo pode conferir algum grau de incerteza aos resultados obtidos.

Para além disso, ao longo da análise do histórico dos dados foram detetadas algumas incongruências relativamente à interpretação dos parâmetros de AC, nomeadamente a ocorrência de casos de rejeição de embalagens em AC devido ao aparecimento de papos ser evidenciada no parâmetro “Observações” e o parâmetro “Aspetto Visual” ser assinalado como “Bom” pelo operador.

Este tipo de situações, apesar de não ser considerado crítico para o decorrer dos procedimentos de tratamento das não conformidades, pode ter impacto numa análise dos resultados de AC se esta não for sujeita a análise que salguarde a deteção deste tipo de incongruências.

Para que o AC seja uma ferramenta de suporte para apuramento de algumas métricas da qualidade, são sugeridas algumas modificações a nível de estrutura, nomeadamente a nível do campo “Aspetto Visual”, no capítulo das propostas de melhoria.

4.4 Análise Económica dos Defeitos

4.4.1 Desperdícios relacionados com variação positiva de espessura

A análise crítica dos gráficos de Pareto apresentados anteriormente revelou a pertinência de um estudo sobre o impacto do aumento de espessura nas três camadas de isolamento aplicadas na fase de isolamento.

As especificações dimensionais seguem normas que podem ser ditadas por normas da IEC (*International Electrotechnical Commission*), por normas específicas de um determinado país ou da entidade compradora.

Na Tabela 4 apresentam-se as especificações dimensionais para as espessuras de isolamento do cabo em estudo, nomeadamente nominal, espessura mínima pontual e a espessura máxima.

Tabela 4 – Requisitos dimensionais de espessuras de Isolamento

| Camada de Isolamento | Espessura Mínima Pontual (mm) | Espessura Nominal (mm) | Espessura Máxima (mm) |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Semicondutor Interior | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| Isolante | 2,96 | 3,4 | 3,6 |
| Semicondutor Exterior | 0,9 | 1,0 | 1,1 |

No caso do cabo em estudo, sabe-se que a espessura nominal média tem de ser cumprida para três camadas de isolamento, isto é, a média dos valores lidos da espessura das diversas camadas de isolamento deve ser igual ou superior à espessura nominal especificada. Salienta-se que o cumprimento das especificações dimensionais é crucial para assegurar que o cabo responda às especificações técnicas necessárias na sua utilização, bem como para o dimensionamento das embalagens utilizadas para o transporte dos cabos. O estudo efetuado teve como objetivo apurar o impacto do aumento de espessuras de isolamento no custo de incorporação de matérias-primas de isolamento no cabo.

Para tal, foi assumido que o custo base corresponde ao cenário em que as espessuras de isolamento são iguais às espessuras nominais. Partindo deste pressuposto, apurou-se o impacto do aumento das espessuras (até à espessura máxima), para cada camada individualmente, considerando as espessuras das restantes camadas iguais às espessuras nominais, tal como representado na Tabela 5.

Tabela 5 – Pressupostos do estudo do impacto de aumento de espessura da camada de isolamento

| Caso | SCI (mm) | Isol (mm) | SCE (mm) |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Padrão | c=0,7 | c=3,4 | c=1 |
| 1 | [0,7-0,9] | c=3,4 | c=1 |
| 2 | c=0,7 | [3,4-3.6] | c=1 |
| 3 | c=0,7 | C=3,4 | [1-1,1] |

Para tal calculou-se o custo de incorporação de matérias-primas de isolamento com base na seguinte fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Custo de Incorporação de MP/metro} &= A_s \times L \times \rho_{MP} \times \text{Preço} \\
 &= \left[\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \times 10^{-6} \right] \times 1 \times \rho_{MP} \times \text{Preço}
 \end{aligned}
 \tag{Equação 15}$$

Em que:

A_s é a área de secção (mm²)

D_2 é o diâmetro da camada exterior (mm)

D_1 é o diâmetro da camada interior (mm)

ρ_{MP} é a densidade do material (Kg/m³)

Preço é o preço do material (€/Kg)

Sendo que, o custo total de incorporação de matérias-primas de isolamento por quilómetro é igual à soma dos custos de incorporação das três camadas.

Da análise do Gráfico 3, pode-se concluir que para a espessura máxima do semiconductor interior, o custo de incorporação de matérias-primas aumenta em cerca de 6% em relação ao custo de cabo com espessuras nominais.

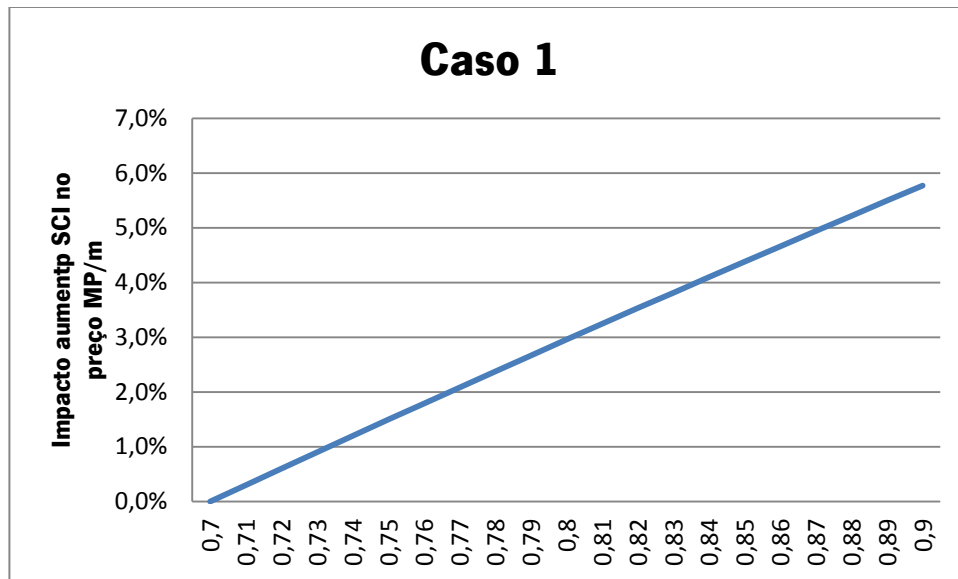


Gráfico 3 – Impacto do aumento da espessura de SCI

Relativamente ao impacto do aumento da espessura da camada de isolamento, este representa cerca de 4% para a espessura máxima em relação ao custo padrão (Gráfico 4).

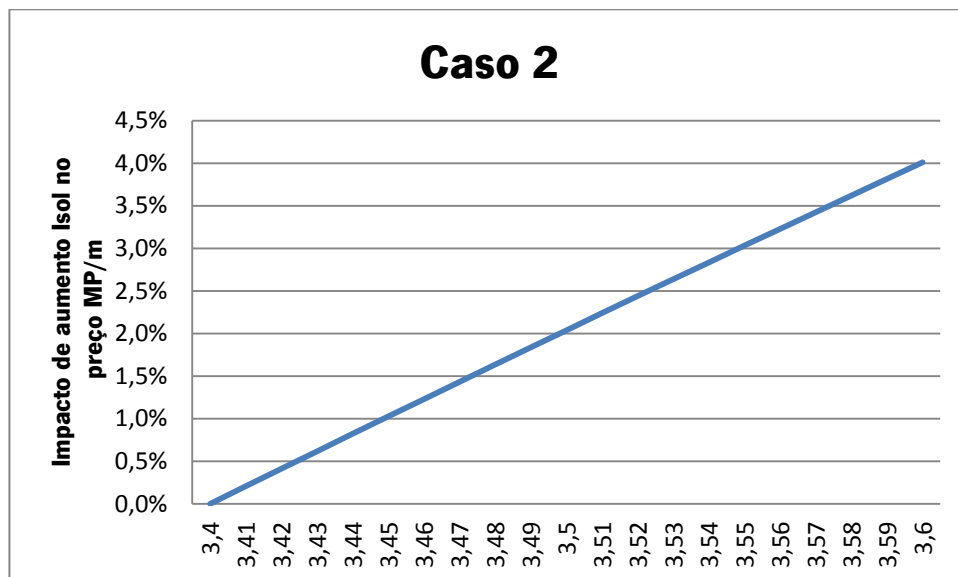


Gráfico 4 - Impacto do aumento da espessura de Isolamento

Quanto ao impacto do aumento da espessura de semicondutor exterior no custo de incorporação de matérias-primas por cabo, este chega a representar aproximadamente 3,5% em relação ao custo do cabo com espessuras nominais (Gráfico 5).

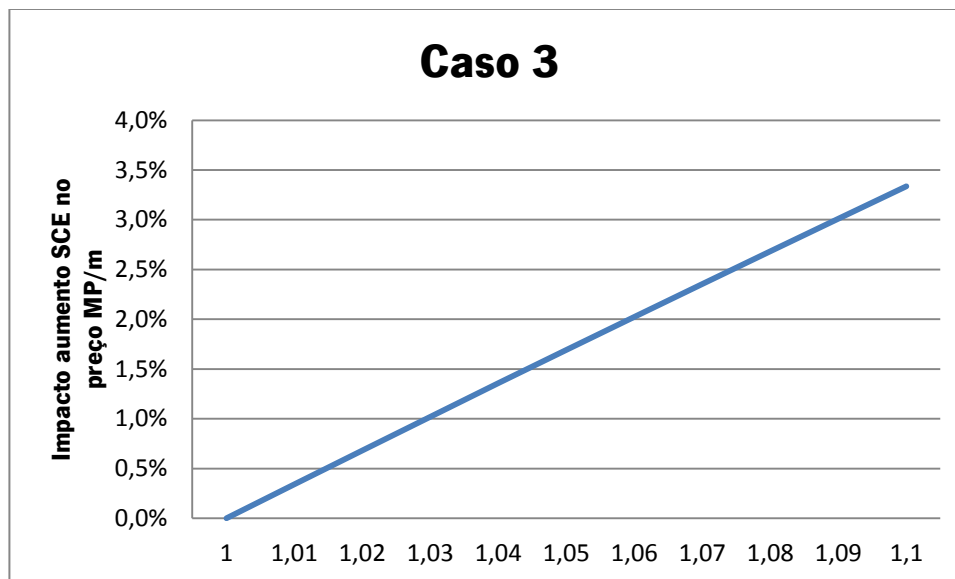


Gráfico 5 - Impacto do aumento da espessura de Isolamento

É importante referir que o processo de extrusão é sujeito a diversas fontes de variação, que obrigam a que se defina uma margem para evitar falhas. Por outro lado, sabe-se que quanto maiores essas margens, maiores serão os custos de produção. Neste campo, o CEP pode constituir uma ferramenta crucial para a redução da variabilidade e, por conseguinte, a redução de custos de produção ao longo do tempo.

4.4.2 Custos com reparações de papos

Após uma rejeição em AC de um lote, devido ao aparecimento de papos, as chefias são notificadas. Caso o defeito seja reparável, as bobinas rejeitadas por este motivo são encaminhadas para uma secção da fábrica que se destina à reparação deste e de outros tipos de defeitos.

O facto deste tipo de defeito representar cerca de 53% dos defeitos detetados em curso de fabrico no processo de embainhamento, revelou a pertinência do apuramento do valor económico dos custos de reparação de papos.

Para o apuramento dos custos incorridos com reparações dos papos foi tido em conta o custo de reparação por hora, que contempla o custo máquina/h e o custo de mão-de-obra direta/h.

Com recurso ao histórico dos dados do SPP, foi possível determinar o tempo despendido nas operações de reparação (Tabela 6). Porém, para o lote 3, o tempo de reparação foi dado por estimativa, pois a introdução da ordem de reparação foi efetuada em gabinete, após a deteção da falta de introdução dos consumos no sistema por parte do operador. Deste modo, para as reparações referentes à embalagem 3, o tempo de reparação foi estimado com a média do tempo de reparação das restantes reparações (1,75 horas).

Tabela 6 – Custos de Reparação de Papos

| Embalagem reprovada | Início Reparação | Fim Reparação | Tempo Reparação (h) | Custo Reparação (€) |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 05-05-2012 12:07:38 | 05-05-2012 14:52:35 | 2,75 | 168,42 € |
| 2 | 06-05-2012 00:28:26 | 06-05-2012 02:07:42 | 1,65 | 101,35 € |
| 3 | - | - | 1,75 | 107,45 € |
| 3 | - | - | 1,75 | 107,45 € |
| 3 | - | - | 1,75 | 107,45 € |
| 4 | 24-06-2012 00:10:00 | 24-06-2012 02:11:00 | 2,02 | 123,54 € |
| 5 | 24-06-2012 02:45:33 | 24-06-2012 04:22:43 | 1,62 | 99,21 € |
| 6 | 26-12-2012 15:12:58 | 26-12-2012 16:31:59 | 1,32 | 80,68 € |
| 7 | 26-12-2012 20:17:23 | 26-12-2012 21:27:25 | 1,17 | 71,51 € |

Assim, estima-se que o valor total gasto nas operações de reparação dos papos foi de cerca de 967 €, o que representa cerca de 138 € por reparação.

O tempo de espera antes da reparação é outra consequência desta não conformidade. Para este caso em específico, o tempo médio apurado entre o final da produção e o início da reparação foi de cerca de 6 dias.

4.4.3 Custos com Retrabalho após Embainhamento

Do tratamento das não conformidades referentes a características dimensionais em que não seja viável proceder-se ao corte do comprimento defeituoso, efetua-se a remoção da camada defeituosa do cabo e, posteriormente, a sua reaplicação.

Do tratamento das não conformidades detetadas no processo de embainhamento resultaram dois *reworks*.

Na valorização económica do tratamento deste tipo de não conformidade, teve-se como base os seguintes fatores:

- Custo do material perdido para sucata: engloba o custo de matérias-primas incorporadas na camada de cabo não conforme, neste caso, da bainha externa e da fita de poliéster (aplicada na fase de aplicação de ecrã), que acaba por ser danificada na operação de remoção da bainha. O custo de matérias-primas para sucata é dado pela seguinte fórmula:

$$C_{sucata} = Qtd_{MP} \times Custo_{MP} \times L \quad \text{(Equação 16)}$$

Em que:

Qtd_{MP} : quantidade de matéria-prima (em Kg) incorporada num metro de cabo

Custo MP: representa o custo da matéria-prima (em €/Kg)

L: representa o comprimento do cabo (em metros)

- Custo da operação de remoção da camada defeituosa: a operação de remoção da camada defeituosa é efetuada numa máquina adaptada para este efeito e são alocados dois colaboradores (no mínimo) a esta operação. Neste processo, além da remoção da camada defeituosa, é reaplicada fita de poliéster. Para o cálculo do custo da operação de remoção da camada defeituosa utilizou-se a seguinte fórmula:

$$C_{remoção\ da\ camada\ defeituosa} = C_{operação/h} \times t_{operação} \quad \text{(Equação 17)}$$

Em que:

$C_{operação/h}$: é o custo da operação por hora, que contempla o custo máquina e custo de mão-de-obra direta.

$t_{operação}$: corresponde à duração da operação de remoção da camada defeituosa

- Custo da operação de retrabalho: contempla o custo da replicação da bainha externa.

$$C_{retrabalho} = CIP_{embainhamento} \times Qtd \quad \text{(Equação 18)}$$

Em que:

$CIP_{embainhamento}$: é igual ao custo industrial padrão de embainhamento por metro

Qtd: representa a quantidade de cabo em metros

Assim, na Tabela 7 apresentam-se os resultados do apuramento dos custos incorridos pela empresa com retrabalho após operação de embainhamento.

Tabela 7 – Custo de retrabalho após operação de aplicação de bainha externa

| Embalagem reprovada | Quantidade (metros) | Sucata (€) | Remoção camada defeituosa (€) | Retrabalho (€) | Total (€) |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| 1 | 260 | 109,96 | 37 | 132,60 | 280,40 |
| 2 | 1010 | 404 | 147 | 515,10 | 1089,24 |
| | | | | | = 1369,64 |

Com base nos componentes de custo apresentados anteriormente, estima-se que o custo com retrabalho após aplicação de bainha foi de cerca de 1370 €.

A quantidade produzida do cabo em estudo representou cerca de 5% da produção anual de cabos isolados de média tensão. Assim, de um total de 122 540 metros relativos às produções deste cabo na fase de bainha do período em análise, cerca de 1% foi alvo de repassagem.

4.5 Análise das Causas dos Defeitos Críticos

O apuramento dos defeitos críticos permitiu definir quais os defeitos, cujas causas seriam objeto de discussão em sessões de brainstorming com os agentes envolvidos nos dois processos. Assim, as sessões foram individualizadas por tipo de processo (Isolamento e Embainhamento), pois apesar de ambos serem processos de extrusão, os métodos de regulação da máquina, bem como a tecnologia utilizada no controlo das variáveis de processo e de produto são diferentes.

No final das sessões com operadores das máquinas procedeu-se à realização de uma sessão de *brainstorming* com as chefias para obtenção do *feedback* de alguns *inputs* recebidos por parte dos operadores e respetiva discussão.

As sessões de *brainstorming* com os operadores abordaram os seguintes aspetos:

- 1) Apresentação do apuramento de defeitos críticos: com vista ao enquadramento e apresentação da situação atual, as análises ABC dos defeitos apresentadas anteriormente foram expostas aos operadores e ajudantes das máquinas dos respetivos processos.
- 2) Análise das Causas dos Defeitos: na análise das causas dos defeitos críticos, recorreu-se ao diagrama causa e efeito. Uma vez que esta era uma ferramenta desconhecida para os agentes envolvidos nas sessões, optou-se por fazer uma introdução a esta ferramenta, através da exposição de um exercício prático sobre o problema/efeito “Despiste Automóvel”. Para dinamizar este processo, o exercício em questão foi apresentado em forma de jogo, em que os colaboradores tinham de colocar as causas sugeridas (pistas) nas respetivas categorias do diagrama de causa e efeito (Anexo II – Jogo interativo para introdução do diagrama de causa-efeito).
- 3) Apresentação de apuramento do valor económico dos defeitos críticos: por último e, com vista à sensibilização dos operadores, apresentou-se o apuramento do valor económico dos defeitos críticos.

4.5.1 Análise de Causas de Defeitos de Isolamento

A análise ABC dos defeitos do processo de isolamento revela a pertinência da averiguação das causas que podem levar às variações das espessuras neste processo. No diagrama de Ishikawa, representado na Figura 28, apresenta-se o resultado das sessões de *brainstorming* com os operadores e com as chefias.

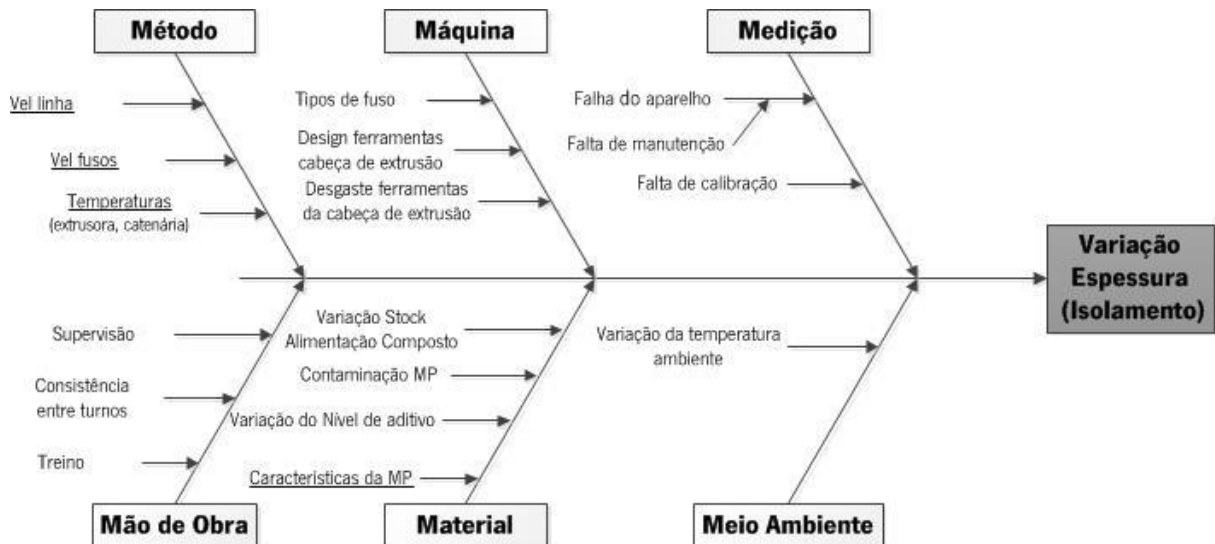


Figura 28 – Diagrama Causa-Efeito sobre Variação da Espessura de Isolamento

Pelo facto do processo de extrusão ser um processo com número significativo de variáveis a controlar, leva a que várias hipóteses possam ser levantadas no estudo das causas das variações de espessura. No entanto, algumas foram destacadas pelos operadores, nomeadamente:

- Regulação da velocidade de fuso e velocidade de linha: a falta de sincronismo entre a velocidade de linha pode originar irregularidades de débito da extrusora.
- A importância da qualidade do material: os materiais com maior dureza são mais difíceis de trabalhar quando se pretende atingir taxas de produtividade significativas. O material mais denso exige, por si só, uma maior velocidade de fuso, o que pode levar a aumento significativo da temperatura da massa fundida e, conseqüentemente, originar irregularidades de débito.
- Variação de temperaturas ao longo do fuso e na cabeça de extrusão: a variação das temperaturas ao longo do fuso e camisa podem ocorrer por diversas razões. A título de exemplo, uma velocidade de fuso demasiado alta pode causar um aumento da temperatura da massa fundida, o que, por sua vez, se pode refletir numa perda de débito da extrusora. Por outro lado, a mudança do saco de matéria-prima no silo pode originar uma baixa de temperatura na zona de entrada do material do fuso e estender-se ao longo deste.

4.5.2 Análise de Causas de Defeitos de Embainhamento

De acordo com a análise ABC aos defeitos decorridos no ano de 2012 na operação de embainhamento, os “papos” na bainha externa são os defeitos com maior taxa de frequência neste processo.

O facto da denominação “papo” não ser acompanhada por uma descrição do papo em si ou de uma sugestão para a possível causa, gera algumas ambiguidades numa análise retrospectiva ao histórico dos defeitos. Portanto, em primeiro lugar, procurou-se caracterizar este tipo de defeito junto da equipa de trabalho antes de discutir as suas causas. Chegou-se à conclusão que, sob a perspetiva da equipa alocada a este processo, a designação de “papo”, pode remeter para duas situações distintas, nomeadamente: o “papo” pode ser resultante do levantamento dos fios de cobre do ecrã metálico ou pode ser um “papo” oco (que pode ser designado por bolha). O primeiro tipo de papo acontece na operação precedente, e é muitas vezes reportado nesta fase de fabrico, pois é um defeito mais facilmente perceptível após a aplicação da bainha sobre o ecrã metálico. Na Tabela 8 apresenta-se a distinção de alguns dos defeitos que podem decorrer no processo de embainhamento e que, pela sua similaridade em aspeto, podem ser designados por “papos”.

Tabela 8 – Defeitos frequentes no processo de embainhamento

| Defeito | Descrição | Causas prováveis |
|------------------------|--|---|
| Papo | Localizado e com marcas de levantamento de fios de cobre | Causas relacionadas com processo de blindagem |
| Bolha | Localizadas em secções (aparecem esporadicamente) | Causas processo anterior: deficiente sobreposição da fita de poliéster; Material acumulado no <i>die</i> ; Material contaminado; Humidade localizada no cabo na fase de blindagem. |
| Vacúolos (“bolhinhas”) | Distribuídas uniformemente | Teor de humidade alto; Temperatura da massa fundida alta; Temperatura do <i>die</i> demasiado alta. |

Como é natural, consoante os diferentes tipos de defeitos suprarreferidos, as sugestões de melhoria são distintas. Caso o defeito em causa seja o “papo”, poderá ser pertinente a verificação da taxa de ocorrência deste tipo de defeito em mais gamas de cabos com configuração similar para justificar a pertinência da análise do processo em que este defeito ocorre (aplicação do ecrã metálico). Por outro

lado, caso os defeitos reportados no período em análise correspondam a bolhas, avistadas esporadicamente ao longo do cabo embainhado, as medidas corretivas poderão passar por uma cuidada análise dos parâmetros de processo que podem estar relacionados com este acontecimento.

Nas sessões de *brainstorming* com os operadores, alguns colaboradores afirmaram quem o aparecimento da bolha dava-se a poucos centímetros após a passagem do cabo pela cabeça de extrusão e que o seu aparecimento era espaçado. Porém, devido aos limites de ação que se definiram para execução da fase piloto da metodologia proposta nesta dissertação, não foi possível apurar se estas falhas podem ser consideradas sistemáticas ou pontuais. Caso esta seja uma falha sistemática, poderá ser mais provável que se justifique uma cuidada análise dos principais parâmetros de processo que lhe podem estar associados, como por exemplo a humidade relativa do silo e a temperatura do cilindro à entrada. Por sua vez, caso esta seja considerada uma falha pontual a qualidade dos lotes de MP do fabricante ou mesmo as condições de armazenamento do lote em fase de ecrã (humidade na fita ou má sobreposição da fita de poliéster) poderão estar por detrás do aparecimento destas bolhas.

Do estudo das causas da variação da espessura da bainha externa resultou o diagrama de causa e efeito representado na Figura 29.

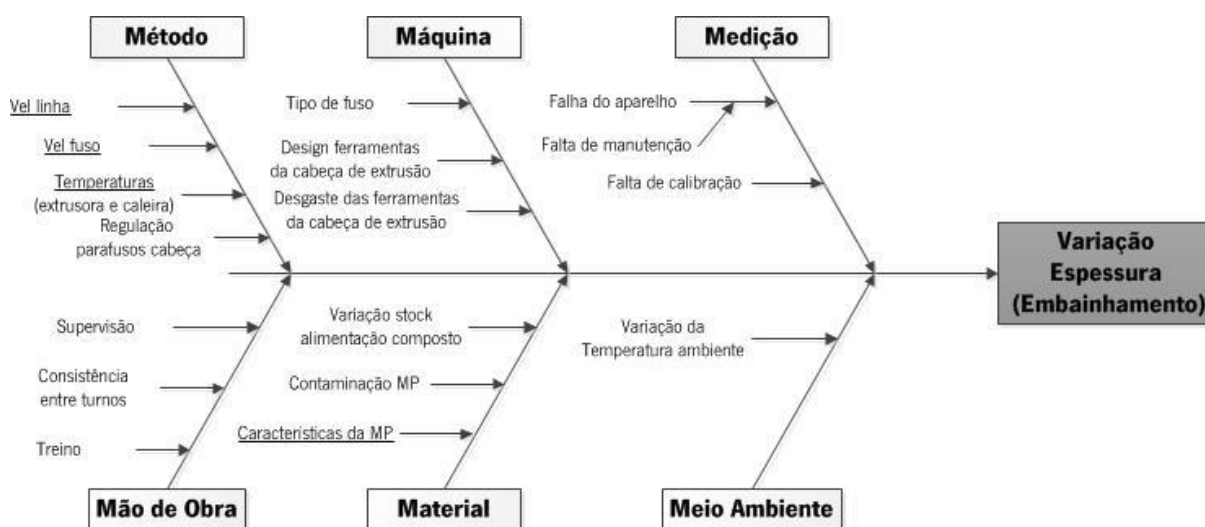


Figura 29 - Diagrama Causa e Efeito sobre Variação da Espessura de Embainhamento

As causas da variação da espessura da bainha são similares às apontadas no estudo das causas da variação das espessuras de isolamento. Porém, existem aspetos característicos do processo de aplicação de bainha externa que aumentam a probabilidade de variação da espessura de bainha, nomeadamente: a frequência de ajustamento da velocidade da linha, que é resultado do tamanho dos lotes neste processos exigirem maior número de trocas de embalagens de recolha e/ou alimentação.

Outro aspeto que deve ser salientado é a diferença existente entre os dois processos (Isolamento e Embainhamento) no sistema de regulação dos parafusos da cabeça de extrusão, pois o processo de isolamento possui um sistema de regulação assistido pelo equipamento de medição de espessuras, cujo resultado é verificado *online* no *display* deste sistema e, no processo de embainhamento, a regulação destes parafusos é efetuada através de tentativa-erro, pois o resultado da regulação só pode ser verificado após o corte de uma amostra e medição da espessura.

4.6 Controlo Estatístico do Processo de Isolamento

Ao longo da dissertação demonstra-se a pertinência da implementação do controlo estatístico nos processos de extrusão.

A característica escolhida para exemplificação da implementação do controlo estatístico do processo de isolamento foi a espessura da camada intermédia – camada de isolante.

Apesar de existir um equipamento de medição dos valores a frio do cabo, este apenas controla o diâmetro total do cabo. Portanto, o valor de espessura a controlar foi um valor de espessura a quente, pois não existiam meios disponíveis que garantissem o número significativo de amostras com o cabo a frio e, simultaneamente, a operacionalidade do processo de recolha de dados.

4.6.1 Plano de Controlo

Conforme referido anteriormente, após se definir a característica a analisar, deve-se definir um plano de controlo que contemple a dimensão da amostra, a frequência de amostragem, o equipamento de medição e o método de medição.

- **Equipamento de medição**

O equipamento de medição existente na linha de isolamento de cabos de média e alta tensão utiliza a tecnologia de multi sensores raio-X na medição das três camadas de isolamento (Figura 30).



Figura 30 - Aparelho de medição de espessuras de Isolamento (Fonte: Sikora (N.D.))

Os valores medidos são calculados diretamente do output do *scanner* do raio-X através de regressão linear e podem ser visualizados no *display* representado na Figura 31.

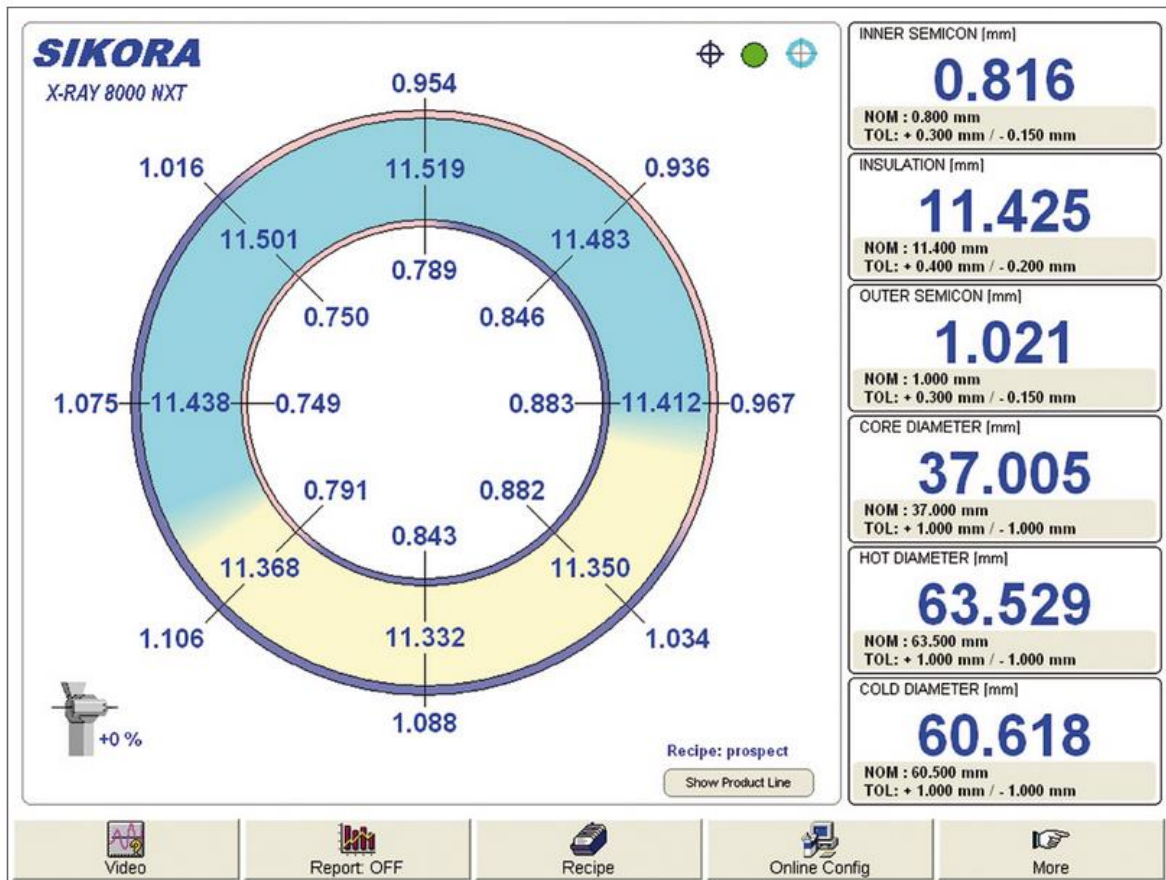


Figura 31 - Output do sistema de medição de espessuras de Isolamento

Para cada camada podem ser visualizados oito pontos de medição das espessuras a quente, bem como o diâmetro total a quente e a frio. Os valores são armazenados com a data, hora e comprimento do cabo em formato “.xls” e podem ser extraídos para um computador através de vários interfaces disponíveis (USB, Ethernet, entre outros) .

Além do ecrã principal representado na Figura 31, os dados também podem ser visualizados graficamente e podem ser consultadas algumas estatísticas no *display* do aparelho de medição, tais como médias, desvios-padrão, mínimos e máximos (Anexo III - Opções de visualização do display do aparelho de medição).

4.6.2 Recolha de dados

Na produção do cabo 185 mm² sólido retirou-se um total de 80 amostras de dimensão igual a um do ficheiro de exportação de dados do aparelho de medição. Conforme se pode ver no excerto do ficheiro de exportação (Figura 32), a cada metro é registada a velocidade de linha, a data e hora, e para as três camadas são registadas quatro medições da espessura, o valor máximo, o valor mínimo e a média, entre outros parâmetros.

| | A | B | C | | AA | AB | AC | AD | AE | AF | AG | AH |
|---|--------|-------|---------------------|--|-------|-------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Length | Speed | Tm | | Wtins | Dins | WTins_MIN | WTins_MAX | WTins_XL | WTins_XR | WTins_YL | WTins_YR |
| 2 | 1 | 8,14 | 04.01.2013 17:37:54 | | 3,62 | 24,54 | 3,57 | 3,75 | 3,66 | 3,58 | 3,68 | 3,57 |
| 3 | 2 | 8,18 | 04.01.2013 17:37:59 | | 3,63 | 24,52 | 3,57 | 3,74 | 3,67 | 3,59 | 3,68 | 3,57 |
| 4 | 3 | 8,22 | 04.01.2013 17:38:05 | | 3,63 | 24,54 | 3,58 | 3,73 | 3,67 | 3,59 | 3,68 | 3,58 |
| 5 | 4 | 8,24 | 04.01.2013 17:38:09 | | 3,63 | 24,51 | 3,58 | 3,72 | 3,67 | 3,61 | 3,68 | 3,58 |
| 6 | 5 | 8,21 | 04.01.2013 17:38:13 | | 3,63 | 24,52 | 3,59 | 3,71 | 3,67 | 3,61 | 3,67 | 3,59 |
| 7 | 6 | 8,24 | 04.01.2013 17:38:19 | | 3,63 | 24,52 | 3,59 | 3,71 | 3,67 | 3,61 | 3,67 | 3,59 |
| 8 | 7 | 8,26 | 04.01.2013 17:38:24 | | 3,64 | 24,48 | 3,59 | 3,69 | 3,67 | 3,62 | 3,67 | 3,59 |
| 9 | 8 | 8,29 | 04.01.2013 17:38:29 | | 3,64 | 24,48 | 3,59 | 3,68 | 3,67 | 3,62 | 3,66 | 3,6 |

Figura 32 - Excerto ficheiro de exportação do aparelho de medição

O parâmetro “Wtins (abreviatura para *Wall Tickness Insulation*)” corresponde à média dos parâmetros “WTins_XL”, “WTins_XR”, “WTins_YL”, “WTins_YR” que correspondem às espessuras lidas nos pontos especificados na Figura 33.

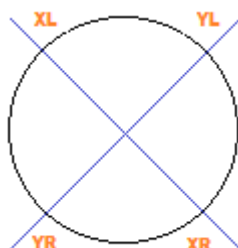


Figura 33 – Esquema de localização de pontos de medição de espessuras

Uma vez que os valores a analisar correspondem a valores medidos a quente, a excentricidade do cabo deve ser tida em conta e inviabiliza a hipótese de que apenas o parâmetro “Wtins” seja alvo de análise. O aparelho de medição situa-se imediatamente após a saída da cabeça de extrusão e, nesta fase de fabrico, a excentricidade do cabo é mais notória nos valores das espessuras lidas. Tal é justificado pela margem que o operador dá na regulação das ferramentas de extrusão, por ter conhecimento do “efeito gota” a que as camadas extrudidas estão sujeitas.

Com recurso ao *software* SPSS fez-se uma análise à normalidade dos dados através do teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Para ser aceite a hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal, o nível de significância, “Asymp. Sig. (2-tailed)” na Tabela 9, deve ser superior a 0.05. Da análise ao teste

efetuado pode concluir-se que as variáveis que correspondem a medidas específicas a um ponto do cabo (XL, XR, YL, YR) seguem a distribuição normal. Porém, para a espessura média, o teste indica que os dados não seguem uma distribuição normal. Os dados referentes à amostragem 1 podem ser visualizados no Anexo IV – Dados amostragem 1.

Tabela 9 – Output do Teste *Kolmogorov-Smirnov* à normalidade dos dados da amostragem 1

| | | Esp_XL | Esp_XR | Esp_YL | Esp_YR | Esp_média |
|----------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| N | | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Normal Parameters ^{a,b} | Mean | 3,6967 | 3,6013 | 3,6895 | 3,6293 | 3,6541 |
| | Std. Deviation | ,03430 | ,03243 | ,03442 | ,03378 | ,01481 |
| Most Extreme Differences | Absolute | ,125 | ,086 | ,088 | ,088 | ,155 |
| | Positive | ,125 | ,086 | ,088 | ,088 | ,155 |
| | Negative | -,105 | -,081 | -,079 | -,071 | -,142 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 1,116 | ,766 | ,789 | ,784 | 1,385 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | ,166 | ,600 | ,562 | ,570 | ,043 |

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Assim, para análise da espessura da camada de isolamento, serão avaliadas as quatro medições individualmente.

4.6.3 Gráficos de controlo

O processo de isolamento de cabos elétricos pode ser considerado um processo contínuo e, neste caso em particular, o aparelho de medição automática permite obter dados para cada metro, logo a recolha de amostras consecutivas para formar subgrupos não é fundamentada. Para além disso, as variações de espessura, podem ser tão reduzidas que se teriam subgrupos com amplitude igual a zero. Assim, o tipo de gráfico escolhido para análise da variabilidade da espessura de isolamento do cabo foi o gráfico de controlo para valores individuais.

Para definição dos limites de especificação foram considerados os valores das especificações de fabrico, ou seja, a espessura média de isolante deve ter um valor próximo de 3,65 mm, com margem positiva de 0,15 mm e margem negativa de 0,10mm.

No Gráfico 6 apresenta-se um resumo dos gráficos de valores individuais correspondentes à amostragem realizada às medições das espessuras dos quatro diferentes pontos da secção transversal do cabo. Os gráficos das amplitudes móveis não são apresentados, pois considerou-se que a informação contida nos gráficos de valores individuais é suficiente para detetar alterações na variabilidade do processo. Através da análise da linha central de cada gráfico, consegue-se denotar a excentricidade provocada na cabeça de extrusão para compensação do efeito “gota” que os materiais sofrem a jusante no processo. Todos os gráficos apresentam pontos fora dos limites de controlo, sugerindo a presença de causas assinaláveis.

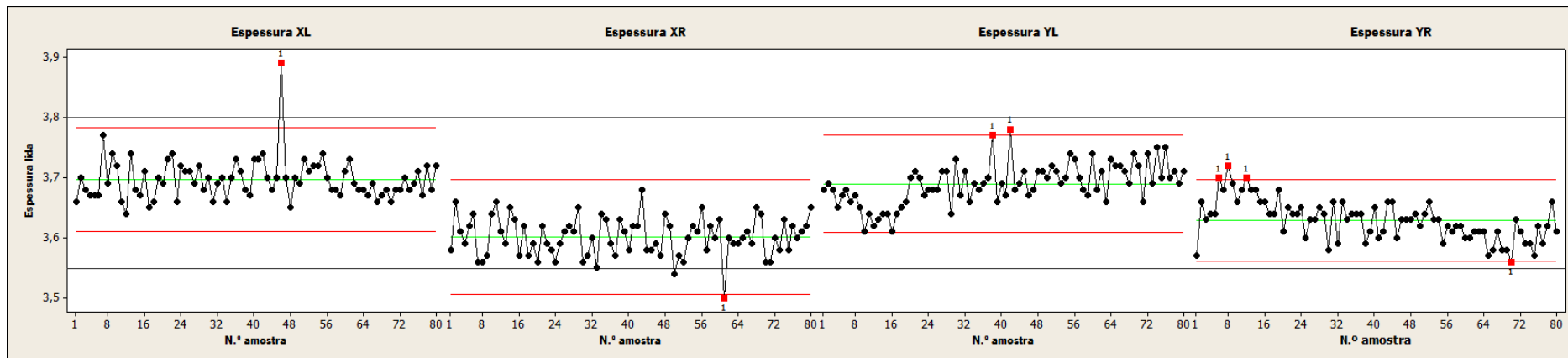


Gráfico 6 – Gráficos de Valores Individuais (Amostragem 1)

O gráfico de controlo referente à medição da espessura XL apresenta os seguintes limites de controlo: 3,70 para a linha central, 3,61 para o limite inferior de controlo e 3,78 para o limite superior de controlo. Este gráfico apresenta um ponto acima do limite superior de controlo para a amostra n.º 46.

Quanto ao gráfico de controlo referente à medição da espessura XR, este apresenta os seguintes limites de controlo: 3,60 para a linha central, 3,51 para o limite inferior de controlo e 3,70 para o limite superior de controlo. Este apresenta um ponto abaixo do limite inferior de controlo, concretamente para a amostra 61.

Relativamente ao gráfico de controlo da espessura YL, este apresenta os seguintes limites de controlo: 3,69 para a linha central, 3,61 para o limite inferior de controlo e 3,77 para o limite superior de controlo. Neste gráfico, os pontos referentes às amostras n.º38 e n.º 42 encontram-se acima do limite de especificação.

No que respeita ao gráfico de controlo referente à espessura YR, este apresenta os seguintes limites de controlo: 3,63 para a linha central, 3,56 para o limite inferior de controlo e 3,70 para o limite superior de controlo. Este gráfico apresenta 3 pontos fora do limite superior de especificação para as amostras 6, 8 e 12 e um ponto abaixo do limite inferior de especificação para a amostra n.º 70.

Através da análise da Tabela 10 pode-se verificar que algumas das situações de ocorrência de pontos fora dos limites de controlo podem ser explicadas pelas alterações na velocidade da linha. Estas alterações ocorrem devido às mudanças da bobina de alimentação.

Tabela 10 – Variações de velocidade vs Pontos fora dos limites de controlo

| Variável | Amostra i | Velocidade de linha amostra i (m/min) | Velocidade de linha amostra i-1 (m/min) |
|-----------------|------------------|--|--|
| Espessura XR | 61 | 11,61 | 9,77 |
| Espessura YL | 42 | 12,27 | 9,49 |
| Espessura YR | 12 | 12,22 | 9,42 |

A velocidade da linha para o processo de isolamento do cabo em estudo é cerca de 12 m/min, exceto na altura de mudança de bobina de alimentação, em que a velocidade é regulada para cerca de 8 m/min (Gráfico 7).

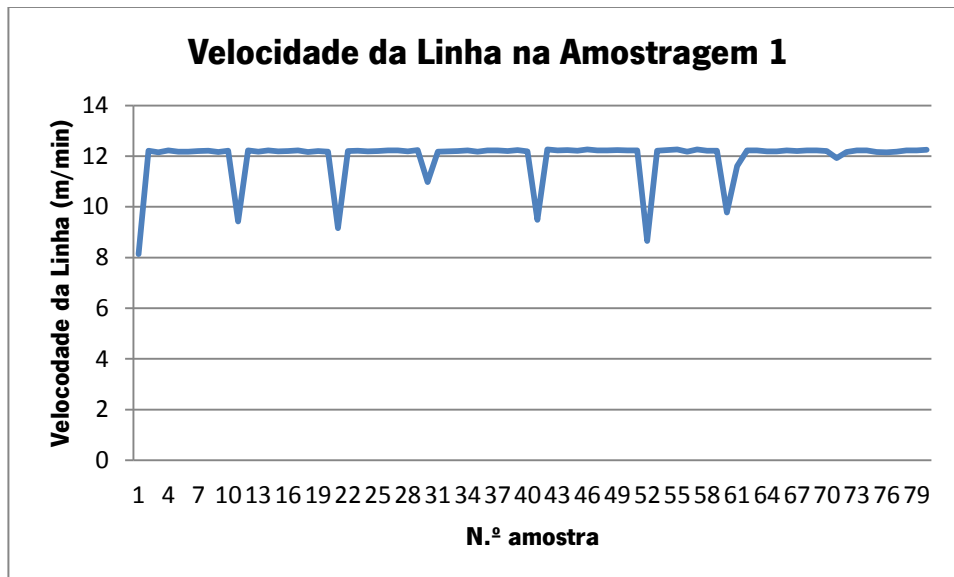


Gráfico 7 – Velocidade de Linha na Amostragem 1

Mantendo a velocidade normal da linha, a margem de tempo disponível para a mudança é de cerca de 12 minutos e descendo a velocidade essa margem aumenta para aproximadamente 18 minutos.

Esta alteração de velocidade poderia ser evitada, caso a quantidade de cabo no acumulador fosse suficiente para manter a alimentação da alma durante o tempo da mudança da bobina de alimentação. Porém, para estes cabos, a mudança de bobina de alimentação inclui a soldadura das pontas das embalagens de recolha, ao invés do sistema de cravação de terminais utilizado para os cabos multifilares.

O processo de soldadura é efetuado numa máquina de soldadura a frio que está programada com oito ciclos de soldadura e três de limpeza da rebarba, o que corresponde a cerca de 5 minutos e 20 segundos, em que cerca de 4 minutos correspondem ao tempo de realização dos oito ciclos de soldadura. Além desta operação, os operadores têm de retirar a bobina de recolha do bobinador e colocar a bobina substituta, inserir as pontas na máquina de soldar e ativar o processo de soldadura, que depois de finalizado, requer uma retificação da limpeza da rebarba. Para este efeito são utilizadas duas ferramentas adicionais, um martelo, caso a função de limpeza da máquina tenha falhado e uma rebarbadora para alisar a superfície soldada.

A configuração atual dos equipamentos necessários à operação de soldadura (Figura 34) dificulta a operação de *setup* da máquina, na medida em que o afastamento da máquina em relação ao ponto de desbobinagem obriga à deslocação da alma até ao ponto de soldadura. Esta deslocação é dificultada devido à tensão do material.

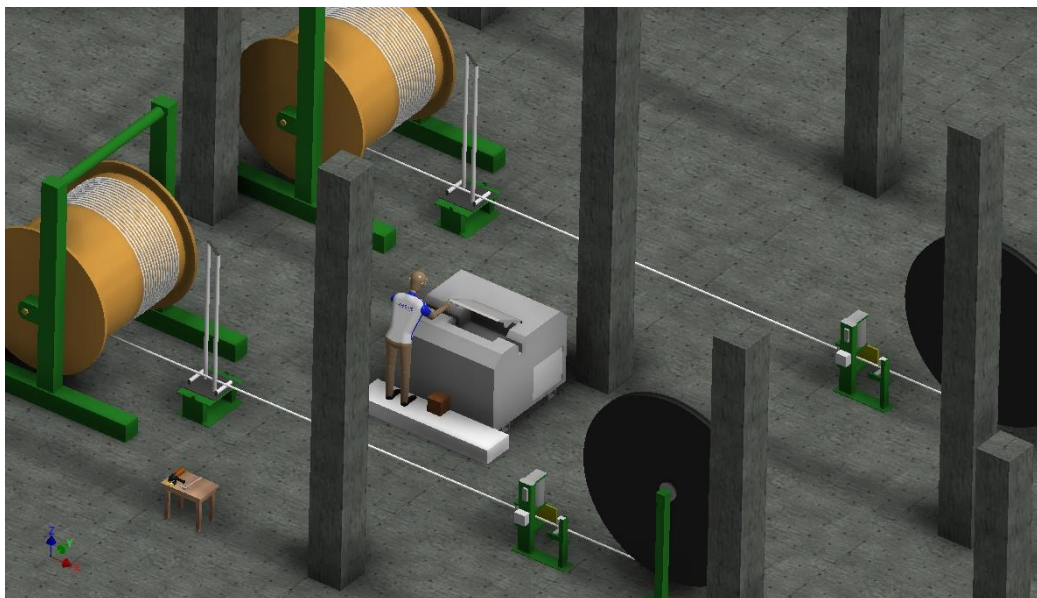


Figura 34 - Configuração atual dos equipamentos utilizados na soldadura

Para além disso, os operadores têm de efetuar algumas movimentações para aceder às ferramentas utilizadas na remoção da rebarba originada pela soldadura, por estas estarem localizadas numa bancada do lado oposto à máquina de soldar (conforme ilustra a Figura 34).

A solução mais simples para a eliminação desta causa especial seria manter sempre a linha de extrusão com a velocidade necessária para efetuar as mudanças, mas isso colocaria o ganho no controlo estatístico à frente da produtividade.

Caso se considere que o volume de produção da gama de cabos com alma sólida justifique uma melhoria do processo de preparação das pontas para soldadura, poderá ser útil a adoção de um sistema de deslocação da máquina ao longo de carris, em que a movimentação será conseguida por sistema hidráulico ou motorizado. Para além disso, para melhorar a organização de ferramentas, propõe-se uma nova organização das ferramentas de retificação da rebarba (Anexo VI – Sugestão para alteração da localização das ferramentas de soldadura).

Apesar da implementação destas propostas ser considerada vantajosa, o ganho necessário em tempo para efetuar a mudança de bobina ficaria abaixo de necessário. Neste sentido, sugere-se a análise da viabilidade económica e técnica da passagem desta operação para o processo antecedente ao

isolamento. Sabe-se que o espaço entre o bobinador e ponto de trefilagem da máquina afeta a este tipo de cabos é suficiente para a colocação da máquina de soldadura no referido espaço. Porém, os fatores de natureza técnica e financeira devem ser estudados cuidadosamente para se equacionar a viabilidade desta proposta.

Uma vez que, até à data de conclusão do projeto, não existiam condições que tornassem viável a manutenção da velocidade normal de marcha durante a mudança de bobina de recolha, fez-se uma segunda versão da amostragem, em que se manteve a frequência de recolha de amostras, mas com a condição de verificação da velocidade de linha. Porém, na impossibilidade do cumprimento da frequência de amostragem foi escolhido o valor mais próximo que registasse a velocidade normal de marcha para que as amostras fossem retiradas nas mesmas condições, tal como evidencia o Gráfico 8.

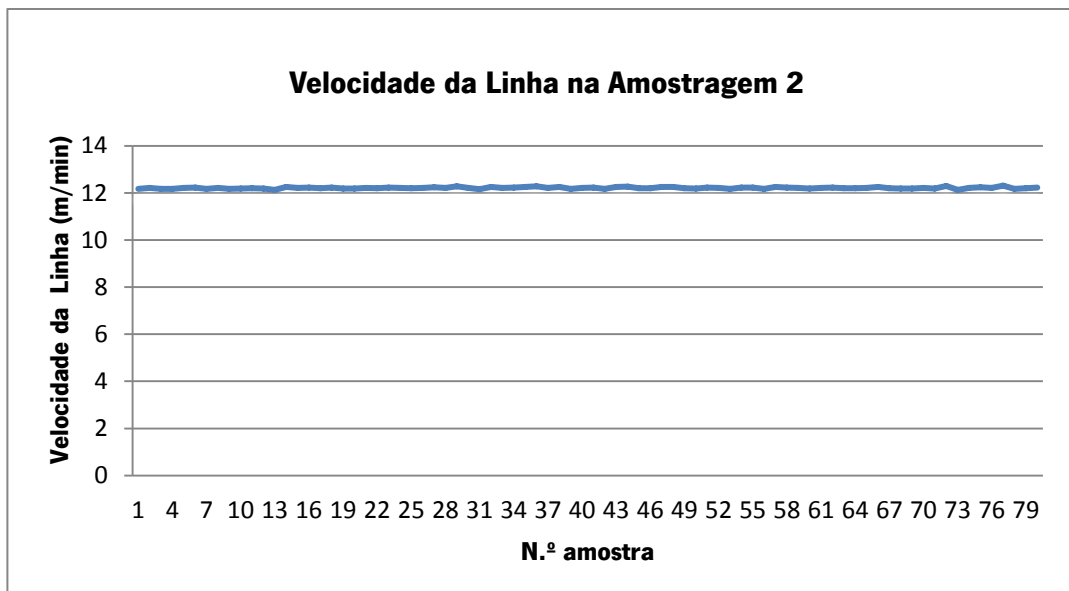


Gráfico 8 - Velocidade de Linha na Amostragem 2

Assim, colheram-se 80 amostras de tamanho unitário para as quatro variáveis em estudo, cujas tabelas de dados podem ser visualizadas no Anexo V – Dados amostragem 2.

Com recurso ao *software* SPSS, fez-se novamente o teste *Kolmogorov-Smirnov* para testar a normalidade dos dados (Tabela 11).

De acordo com o teste à normalidade dos dados, todas as variáveis correspondentes às medições da espessura de isolamento em pontos de medição específicos da secção transversal do cabo seguem a distribuição normal. Porém, apesar da nova amostragem aos dados exportados, a espessura média continua a não seguir uma distribuição normal (pois $0,017 \leq 0.05$).

Tabela 11 - Output do teste *Kolmogorov-Smirnov* à normalidade dos dados da amostragem 2

| | | Esp_XL | Esp_XR | Esp_YL | Esp_YR | Esp_média |
|----------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| N | | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Normal Parameters ^{a,b} | Mean | 3,6832 | 3,6010 | 3,6940 | 3,6201 | 3,6496 |
| | Std. Deviation | ,03233 | ,03517 | ,03133 | ,03418 | ,01453 |
| | Most Extreme Differences | | | | | |
| | Absolute | ,117 | ,152 | ,099 | ,126 | ,173 |
| | Positive | ,117 | ,084 | ,092 | ,099 | ,127 |
| | Negative | -,097 | -,152 | -,099 | -,126 | -,173 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | 1,049 | 1,362 | ,887 | 1,129 | 1,545 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | ,221 | ,049 | ,411 | ,157 | ,017 |

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Da amostragem efetuada, resultaram os gráficos de controlo representados no Gráfico 9.

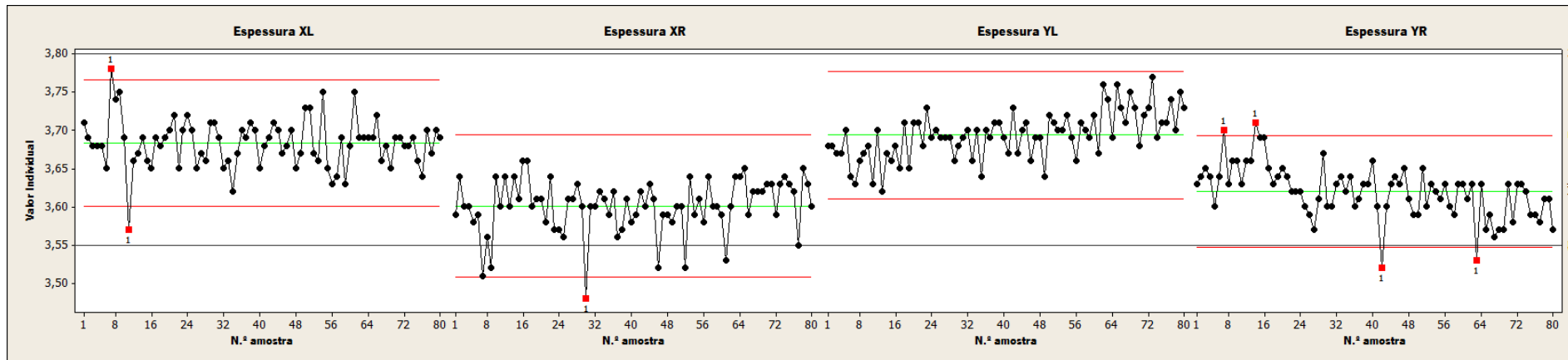


Gráfico 9 – Gráficos de Valores Individuais (Amostragem 2)

O gráfico de controlo referente à medição da espessura XL apresenta os seguintes limites de controlo: 3,68 para a linha central, 3,60 para o limite inferior de controlo e 3,77 para o limite superior de controlo. Este gráfico apresenta um ponto acima do limite superior de controlo, para a amostra n.º7 e um ponto abaixo do limite inferior de controlo para as amostra n.º11.

Quanto ao gráfico de controlo referente à medição da espessura XR apresenta os seguintes limites de controlo: 3,60 para a linha central, 3,51 para o limite inferior de controlo e 3,69 para o limite superior de controlo. Este apresenta um ponto abaixo do limite do limite inferior de controlo, concretamente para a amostra n.º30.

Relativamente ao gráfico de controlo da espessura YL, este apresenta os seguintes limites de controlo: 3,69 para a linha central, 3,61 para o limite inferior de controlo, 3,78 para o limite superior de controlo e não apresenta pontos fora dos limites de controlo.

Quanto ao gráfico de controlo referente à medição da espessura YR, este apresenta os seguintes limites de controlo: 3,62 para a linha central, 3,55 para o limite inferior de controlo e 3,69 para o limite superior de controlo. Este gráfico apresenta dois pontos acima do limite superior de controlo, nomeadamente para as amostras n.º42 e n.º63.

Além da presença de pontos fora dos limites de controlo, cujas causas não foram detetadas, pode notar-se um padrão não aleatório nos gráficos referentes às variáveis YL e YR. Embora menos perceptível neste último, os dois gráficos apresentam tendências opostas a partir da amostra n.º 56, nomeadamente uma tendência crescente para a “Espessura YL” e uma tendência decrescente para a “Espessura YR”. Pelo facto destas duas tendências coincidirem e a amostra n.º56 ter sido retirada próxima da mudança de turno, pode colocar-se em hipótese a existência de um ajustamento por parte do operador. A sincronia das tendências opostas reforça esta hipótese, uma vez que este ajustamento respeita a metodologia de compensação do valor das espessuras localizadas na parte superior do cabo em relação às da parte inferior.

Posto isto, considera-se que o processo não se encontra sob controlo estatístico, logo não existem ainda condições para calcular a sua capacidade.

Conforme é descrito no Anexo VII - Fluxograma do Plano de Melhoria da Qualidade do Processo, é importante identificar a presença das causas assinaláveis e tomar medidas corretivas que minimizem e, se possível, eliminem os seus efeitos.

Acredita-se que a continuidade deste trabalho irá permitir à empresa reduzir gradualmente a variabilidade do processo, e, conseqüentemente, reduzir os custos de incorporação de matéria-prima.

Neste sentido, sugerem-se algumas propostas de melhoria no subcapítulo que se segue.

Relativamente ao processo de aplicação de bainha externa, não foram aplicadas as cartas de controlo conforme foi inicialmente estipulado, pois os lotes fabricados nesta máquina são muito pequenos, o que faz com as mudanças de bobina de alimentação sejam frequentes para que o número de amostras por lote seja satisfatório.

4.7 Propostas de Melhoria

- **Integração do plano de melhoria contínua da qualidade dos processos nos objetivos da gestão**

A implementação do plano de melhoria da qualidade dos processos, introduzido em formato de projeto-piloto nesta dissertação, constitui uma proposta de melhoria para a empresa, na medida em que, esta metodologia baseia-se na orientação para resultados e, deste modo, incentiva a filosofia de melhoria contínua.

Conforme ilustra a Figura 35, através da implementação dos procedimentos e ferramentas utilizadas, esperam-se melhorias nos principais indicadores da qualidade, nomeadamente: % de defeituosos, total de desperdícios em sucata (em euros) e n.º de reparações (em euros). Para além destes indicadores, sugere-se que seja efetuada uma comparação das espessuras lidas em AC relativamente às espessuras consideradas exequíveis pela equipa técnica e de produção. Desta forma, será possível ter uma noção da “margem de segurança” existente em cada produto/gama de produtos e constatar, a longo prazo, os impactos que a redução gradual da variabilidade do processo terá no custo de incorporação de MP.

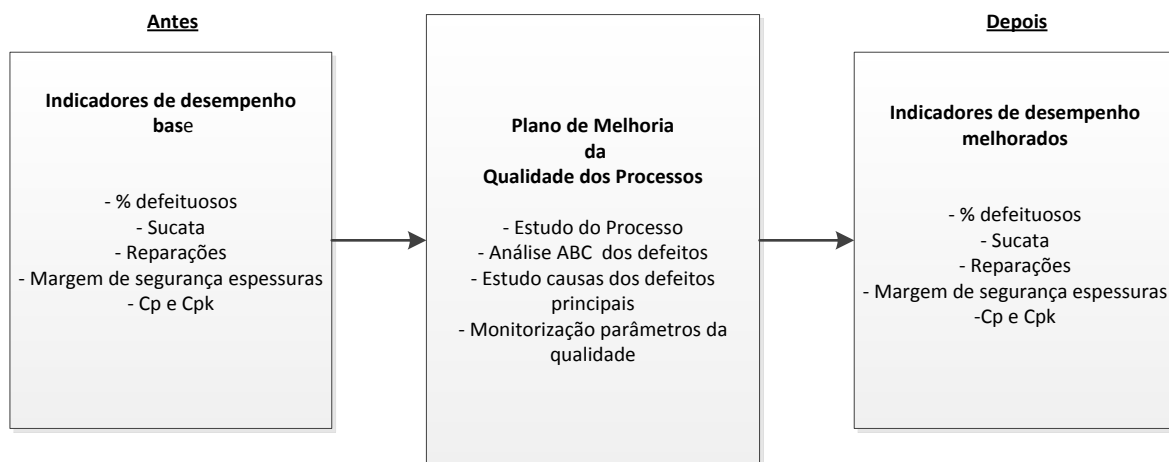


Figura 35 – Dinâmica do modelo de melhoria da qualidade dos processos proposto

No que se refere ao valor de Cp e Cpk, estes não foram apurados até à data de conclusão do projeto, uma vez que o processo não foi considerado sob controlo estatístico. Porém, sendo este um projeto que assenta nos princípios de melhoria contínua dos processos, apresenta-se de seguida um resumo (Tabela 12) de algumas propostas de melhoria, que visam melhorar a eficácia do plano de melhoria da qualidade dos processos proposto.

Tabela 12 – Resumo das propostas de melhoria

| Proposta de Melhoria | Impacto positivo para a organização |
|---|---|
| Integração do plano de melhoria contínua da qualidade dos processos nos objetivos da gestão | - Diminuição significativa da variabilidade do processo; - Melhoria nos indicadores da qualidade; - Redução de custos com incorporação de MP. |
| Melhoria no campo aspeto visual | - Aumentar eficácia da identificação dos defeitos críticos; |
| Diário de bordo | - Aumenta a probabilidade de identificação das causas especiais; - Procedimento base para estabelecer um plano de resolução de problemas. |
| Transição para Cartas CUSUM ou EWMA | - Cartas mais sensíveis a pequenas alterações dos parâmetros. - Aumenta probabilidade de deteção de causas especiais. |
| Equipamento de medição a frio na linha de isolamento | - Monitorização <i>online</i> da qualidade do produto final; - Apoio na redução de margens de segurança dadas devido à contração do material. |

- **Melhoria no campo aspeto visual**

Tal como referido anteriormente, existem limitações a nível do funcionamento do sistema de Auto Controlo que dificultaram o apuramento dos defeitos críticos.

O campo “Aspeto Visual” pode ser avaliado pelo operador como “Bom” ou “Mau”, logo, é um campo sujeito à subjetividade dos operadores.

Para aumentar as potencialidades do sistema de Auto Controlo, as rejeições por mau aspeto visual, como por exemplo, pela ocorrência de “papos”, não devem ser evidenciadas no campo observações, descurando o campo aspeto visual ou até mesmo avaliando-o como “bom”.

Assim, para que as análises posteriores sejam executadas mais facilmente, a equipa de produção deve ser sensibilizada para as situações que podem ser consideradas como “Bom” e “Mau aspeto visual”. A

seleção da opção “Mau” neste campo podia ser acompanhada de um campo referente ao motivo, para que este pudesse ficar registado e associado à opção selecionada.

Uma vez que algumas designações, como por exemplo a designação “papo”, podem gerar ambiguidades, numa análise posterior os termos utilizados neste campo deveriam ser consensuais, para os operadores e para a equipa responsável pela análise destes dados. Assim, inicialmente dar-se-ia uma designação (ou mesmo um código) aos defeitos mais comuns de cada processo, bem como uma caracterização breve do defeito em si. Esta informação poderia estar disponível e anexa na estrutura digital do auto controlo e ser atualizada sempre que um novo defeito começasse a ser motivo de rejeição por mau aspeto visual.

- **Diário de bordo**

O diário de bordo consiste na criação de um histórico de modificações ocorridas no processo que podem ser motivo da presença de causas assinaláveis. Estas modificações podem estar relacionadas com pessoas, o método, a máquina, a medição e meio ambiente.

Todos os registos devem ser acompanhados da data e hora da ocorrência, o colaborador envolvido, o produto que estava a ser produzido e, no caso particular da indústria de condutores elétricos, pode ser vantajoso indicar a metragem do cabo na altura da ocorrência.

O histórico (Tabela 13) resultante deste procedimento pode ser considerado vantajoso para ser posteriormente confrontado com as amostras recolhidas para a realização dos gráficos de controlo.

Tabela 13 – Exemplificação da proposta de implementação de diário de bordo

| Data | Hora | Comprimento | Observação | Operador |
|-------------|-------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| 05-01-2012 | 05:10 | 108 | Velocidade estabilizada | A |
| 05-01-2012 | 05:30 | 317 | Redução Velocidade de Linha | A |
| 05-01-2012 | 05:45 | 350 | Mudança de Bobina de recolha | B |
| 05-01-2012 | 06:00 | 410 | Mudança de Embalagem de MP | A |
| 05-01-2012 | 06:10 | 700 | Ajustamento Velocidade | B |
| 05-01-2012 | 09:15 | 1000 | Fim de Produção | B |

Por outro lado, este tipo de procedimento pode servir de base para a elaboração de plano de resolução aos problemas mais frequentes.

Para tentar adiantar alguns dos problemas comuns e respetivas ações de resposta foi colocada a seguinte questão aos operadores e assistentes de máquina – “Em que situação(ões) o ajudante de

máquina dá um alerta ao operador?”. Pelo menos um assistente de máquina está sempre afeto junto ao local de bobinagem e este fica responsável pelo controlo desta e pelo aviso ao operador da extrusora, através do telefone interno, de sinais de alerta que deteta no cabo ou nas amostras retiradas no final de cada lote e/ou durante o *setup* da máquina. Na Tabela 14 apresentam-se algumas dessas situações:

Tabela 14 – Plano de Resolução de Problemas Isolamento

| Defeito visível | Causa(s) Provável | Explicação | Ação corretiva |
|---|---|--|--|
| Cabo baço/raspado | Vedação da caleira demasiado fechada | Vedação de circuito de arrefecimento raspa no cabo retirando brilho | - Abrir um pouco a vedação |
| Cabo rugoso (com “anéis” à superfície) | - <i>Die</i> largo - Vedação demasiado apertada (causa vibração na linha) | O diâmetro do <i>Die</i> Exterior deve, regra geral ser inferior ao diâmetro do cabo a quente. Estando largo a pressão na cabeça diminui, começando a notar-se algumas rugosidades (“anéis”) | - Aumentar velocidade do fuso - Verificar estado da ferramenta no final da produção |
| Picos | - Pré-Reticulações - Sujidade na extrusora | Nas paragens em que a MP não muda o material fica à espera na extrusora ainda quente e parada. Quando se reinicia o material pode ter alguns picos do material “danificado” que vai saindo | - Limpeza cuidada da máquina; - Tentar diminuir ao máximo os tempos de mudança, sempre que haja material quente na extrusora. |
| Efeito gota (cabo descentrado em fabrico) | -Deficiente compensação espessuras superiores em relação às inferiores; -Falha no ajustamento da velocidade de rotação | Para cabos com diâmetros maiores, para além do regime de compensação de espessuras, é provocado um movimento de rotação do cabo para evitar o efeito gota inerente ao processo | - Verificar regulação das temperaturas, especialmente à saída da cabeça e nível de aditivo. |

• **Transição para Cartas CUSUM ou EWMA**

Na presente dissertação utilizaram-se as cartas de controlo para valores individuais. Contudo, a médio/longo prazo, com um conhecimento mais aprofundado dos procedimentos do CEP e do próprio processo, poderá ser vantajoso transitar para a utilização de cartas de controlo mais sofisticadas (CUSUM ou EWMA), que dão respostas a alguns problemas levantados pelas cartas de Shewhart, nomeadamente a falta de sensibilidade na deteção de pequenas alterações nos parâmetros do processo.

- **Equipamento de medição a frio na linha de isolamento**

O sistema de medição utilizado na linha de isolamento é composto por dois aparelhos. O primeiro deles localizado após a cabeça de extrusão, que fornece informações para uma centragem rápida e controlo direto das espessuras a quente; o outro equipamento de medição está localizado no final da linha de extrusão, antes do local de bobinagem, e dá informação do diâmetro total do cabo a frio. Consequentemente, este equipamento dá uma noção geral do valor da contração dos três polímeros e para a obtenção dessa informação desse valor para as três camadas individualmente tem de se efetuar um corte e medir manualmente (durante o tempo de *setup* e lote a lote).

Assim, propõe-se à empresa o investimento num equipamento de medição similar ao utilizado para medição a quente, que substitua o atual e dê informação em tempo real dos valores de contração de cada camada de isolamento, bem como da centragem. Deste modo, a qualidade do produto final poderia ser aferida em tempo real e ser monitorizada através da introdução de gráficos de controlo.

Para além de este investimento ser útil para o controlo do processo, pois os operadores podem controlar mais facilmente os efeitos das alterações nos parâmetros de processo a nível de espessuras, pode ainda ser calculada a capacidade do processo garantir as especificações do produto final.

5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido na Solidal teve como objetivo a implementação de um programa de melhoria da qualidade dos processos de extrusão de condutores elétricos. Assim, foi definido um plano que visou o apuramento dos principais defeitos detetados nos dois processos, bem como uma estimativa dos custos que esses defeitos representam para a empresa e o estudo de possíveis causas dos mesmos. Para além disso, pretendia-se implementar um sistema de controlo estatístico capaz de monitorizar parâmetros de interesse definidos ao longo da dissertação.

Assim, do apuramento dos defeitos críticos registados no processo de isolamento, concluiu-se que os defeitos referentes ao cumprimento de espessuras representaram cerca de 90% dos defeitos registados nas produções do período em análise.

Quanto aos defeitos registados no processo de embainhamento, cerca de 53% dos defeitos apurados foram relativos ao campo “aspecto visual”, concretamente devido ao aparecimento de “papos” na bainha. Uma das questões que dificultou a análise retrospectiva dos dados foi a utilização deste conceito para dois tipos de defeitos diferentes, nomeadamente para papos ocios (bolhas) e para papos originados pelo levantamento dos fios da blindagem de cobre aplicada no processo anterior. Para que estas situações sejam evitadas no futuro, sugere-se que seja feita uma sensibilização dos operadores para a importância de registar sempre as causas da rejeição e, caso esta se deva a uma falha no campo “aspecto visual”, dada a variedade de falhas a este nível que podem ocorrer, deve ser feita uma referência inequívoca à falha em questão.

Da análise económica aos custos que os defeitos representam, estimou-se que o custo total de reparação das sete embalagens reprovadas por aparecimento de papos foi de cerca de 970€ e o tempo médio de espera para a secção de reparações foi de cerca de 6 dias. Para além disso, estimou-se que os custos com operações de retrabalho, referentes a 1270 metros (1% da quantidade de cabo produzida) de cabo rejeitados em curso de fabrico, foram de, aproximadamente, 1370€. Espera-se que com a continuidade do trabalho apresentado, estes custos da não qualidade tendam a diminuir.

Relativamente ao estudo realizado ao impacto da variação positiva das espessuras de isolamento, este revelou a pertinência da redução das margens de segurança dadas às espessuras das camadas de isolamento, na medida em que este procedimento contribui para uma descida do custo de produção dos cabos. Porém, uma redução descontrolada das margens de segurança das espessuras deve ser evitada, pois pode levar a um aumento do número de cabos rejeitados com necessidade de

repassagem. Desta forma, considerou-se pertinente a implementação de um sistema de controlo estatístico capaz de reduzir gradualmente a variabilidade do processo, para ter conhecimento do grau de risco que se pode tomar na redução das margens de segurança das espessuras.

Através da leitura dos gráficos de controlo resultantes da amostragem efetuada às espessuras lidas para a camada de isolamento intermédia, confirmou-se que a alteração da velocidade da linha para a substituição da bobina de recolha justificava a presença de alguns pontos fora dos limites de controlo.

Numa segunda versão da amostragem, manteve-se a frequência de amostragem, porém com uma condição da verificação da velocidade normal de marcha. Contudo, os gráficos resultantes apresentaram pontos fora do controlo, cujas causas não foram determinadas. Para além disso, dois gráficos referentes a dois pontos diferentes de leitura de espessuras apresentaram, para um período análogo, tendências opostas e coincidentes com o regime natural de compensação das espessuras da parte superior do cabo em relação à parte inferior. Por estas razões, considera-se provável que tal seja devido a um ajustamento, voluntário ou resultante de uma resposta a um alerta da máquina, feito pelo operador.

Salienta-se que, após os testes dimensionais ao cabo em frio, efetuados no AC e no laboratório de ensaios, verificou-se que os cabos cumpriam os requisitos referentes às espessuras. Contudo, o processo não pode ser considerado sob controlo estatístico e, conseqüentemente a sua capacidade não pode ser calculada.

5.1 Trabalho futuro

É de referir que parte dos objetivos propostos inicialmente não foi cumprida, nomeadamente a aplicação de cartas de controlo no processo de embainhamento, pois, devido ao tamanho mais reduzido dos lotes, o período de estabilização do processo é muito curto para a recolha de uma quantidade significativa de amostras por lote, dificultando também o cumprimento da frequência da amostragem.

Salienta-se que, uma das dificuldades sentidas foi a escolha da carta de controlo adequada para o processo de isolamento, bem como o estudo da melhor abordagem para a realização da amostragem, sugerindo-se, como proposta de trabalho futuro, a transição para cartas mais sensíveis a pequenas alterações nos parâmetros no processo de isolamento, assim como, o estudo da aplicação de cartas de controlo adequadas a pequenos lotes para o processo de embainhamento.

No que se refere ao processo de isolamento, considera-se que a continuidade do trabalho efetuado até à implementação e consolidação dos procedimentos de melhoria contínua utilizados constituiria uma mais-valia na redução da variabilidade do processo e, conseqüentemente, dos custos de produção.

Neste sentido, outra das propostas de trabalho de investigação futura para eliminação de uma das causas especiais, será a análise custo-benefício da passagem da operação de soldadura para o processo a montante no sistema produtivo, aumentando o tamanho dos lotes de alma condutora e passando a ser adotado o sistema de cravação com terminais.

Para além disso, é sugerida a adoção de procedimentos de suporte à redução da variabilidade do processo, tais como a implementação de um diário de bordo para aumentar as probabilidades de deteção das fontes de variação e o investimento num equipamento de medição de espessuras a frio para monitorização *online* dos requisitos dimensionais do produto final e apoio na redução gradual de margens de segurança de espessuras dadas a quente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antony, J., & Taner, T. (2003). A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. *Business Process Management Journal*, 9(4), 473-489.
- Assaleh, K., & Al-assaf, Y. (2005). Features extraction and analysis for classifying causable patterns in control charts. *Computers & Industrial Engineering*, 49(1), 168-181. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2005.01.021>
- Bamford, D. R., & Greatbanks, R. W. (2005). The use of quality management tools and techniques: a study of application in everyday situations. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(4). doi: 10.1108/02656710510591219
- De Mast, J., Schippers, W. A., Does, R., & Van Den Heuvel, E. R. (2000). Steps and strategies in process improvement. *Quality and Reliability Engineering International*, 16(4), 301-312.
- DeFeo, J. A. (2001). The tip of the iceberg. *Quality progress*, 34(5), 29-37.
- Does, R. J. M. M., Schippers, W. A. J., & Trip, A. (1997). A framework for implementation of statistical process control. *International Journal of Quality Science*, 2(3), 181-198. doi: 10.1108/13598539710170821
- Dudek-Burlikowska, M. (2005). Quality estimation of process with usage control charts type X-R and quality capability of process Cp, Cpk. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163(0), 736-743. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.210>
- Eisenhardt, & M., K. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- IEP. (1997). As Matérias Plásticas e o Controlo dos Processos - Documentação de apoio Solidal S.A. (Vol. 3).
- Jayswal, A., Li, X., Zanwar, A., Lou, H. H., & Huang, Y. (2011). A sustainability root cause analysis methodology and its application. *Computers & Chemical Engineering*, 35(12), 2786-2798. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.05.004>
- Juran, F., & De Feo, J. (2010). *Juran's Quality Handbook* (6 ed.). USA: Mc Graw-Hill.
- Kathuria, R., & Davis, E. B. (1999). Quality and Work Force Management: From Manufacturing Managers' Perspective. *Journal of Quality Management*, 4(2), 147-166. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1084-8568\(99\)00010-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1084-8568(99)00010-3)
- Kaya, İ., & Kahraman, C. (2011). Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3172-3184. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.004>
- Kumar, A., & Motwani, J. (1996). Doing it right the second time. *Industrial Management & Data Systems*, 96(6), 14-19.

- McCutcheon, D. M., & Meredith, J. R. (1993). Conducting case study research in operations management. *Journal of Operations Management*, 11(3), 239-256.
- McQuater, R. E., Scurr, C. H., Dale, B. G., & Hillman, P. G. (1995). Using quality tools and techniques successfully. *The TQM Magazine*, 7, 37-42.
- Montgomery, D. C. (2005). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc.
- Motorcu, A. R., & Güllü, A. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design*, 27(5), 364-372. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2004.11.003>
- Munro, R. A., Maio, M. J., Naway, M. B., & Ramu, G. J. (2007). *The Certified Six Sigma Green Belt*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Nelson, L. S. (1982). Control Charts for Individuals Measurements. *Journal of Quality Technology* 14(2), 172-173.
- Oakland, J. (1999). *Statistical Process Control*. Oxford: Butterworth-Heinmann.
- Oakland, J. S. (1993). *Total Quality Management - The route to improving performance* (2 ed.). Oxford: Butterworth Heinmann.
- Pacheco, M. (2012). *O uso das ferramentas da qualidade nas organizações Portuguesas*. (Mestrado), Universidade do Minho.
- Pacheco, M., Sampaio, P., & Rodrigues, C. (2011). *Ferramentas da Qualidade: estudo da aplicação e o uso nas organizações certificadas*. Paper presented at the ENEGI 2011, Guimarães.
- Pires, V. T. (2000). *Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz*. (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rauwendaal, C. (1993). *SPC - Statistical Process Control in Extrusion*. Munich;Viena;New York;Barcelona: Hanser Publishers.
- Reed, R., Lemak, D. J., & Mero, N. P. (2000). Total quality management and sustainable competitive advantage. *Journal of Quality Management*, 5(1), 5-26. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1084-8568\(00\)00010-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1084-8568(00)00010-9)
- Reifenhäuser. (2012). Single-screw extruder. Retrieved Maio, 2013, from http://www.reifenhauser-et.com/en/extruder/p0055_einschneckenextruder.asp
- Requeijo, J. G. (2003). *Técnicas Avançadas do Controlo Estatístico do Processo* (Doutoramento), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Sefik, M. (1998). Importance of the rational subgroups in designing control charts. *Computers & Industrial Engineering*, 35(1-2), 205-208. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(98\)00064-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00064-3)
- Sherman, P. J. (2012). Back to Basics: Smart Charting. *Quality Progress*, 45.

Sikora. (N.D.). X-Ray 8000 NXT [Brochure]: Sikora.

Solidal. (2012). Manual do Sistema de Gestão Integrado (12 ed.). Esposende.

Srikaeo, K., Furst, J. E., & Ashton, J. (2005). Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. *Food Control*, 16(4), 309-317. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.03.010>

Tarí, J. J., & Sabater, V. (2004). Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*, 92(3), 267-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.018>

Troester. (N.D.). Extrusion Equipment for the Cable Industry [Brochure]: Troester.

Watson, R. M. (1998). Implementing self-managed process improvement teams in a continuous improvement environment. *The TQM Magazine*, 10, 246-257.

Wu, C.-W., Pearn, W. L., & Kotz, S. (2009). An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *International Journal of Production Economics*, 117(2), 338-359. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.11.008>

Yin, R. K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods* (2 ed.). Newbury Park, CA: Sage Publications.

ANEXO I – TABELA DE CONSTANTES PARA CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLO

| Observations in Sample, <i>n</i> | Chart for Averages | | | Chart for Standard Deviations | | | | | | Chart for Ranges | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Factors for Control Limits | | | Factors for Center Line | | Factors for Control Limits | | | | Factors for Center Line | | Factors for Control Limits | | | | |
| | <i>A</i> | <i>A</i> ₂ | <i>A</i> ₃ | <i>c</i> ₄ | 1/ <i>c</i> ₄ | <i>B</i> ₃ | <i>B</i> ₄ | <i>B</i> ₅ | <i>B</i> ₆ | <i>d</i> ₂ | 1/ <i>d</i> ₂ | <i>d</i> ₃ | <i>D</i> ₁ | <i>D</i> ₂ | <i>D</i> ₃ | <i>D</i> ₄ |
| 2 | 2.121 | 1.880 | 2.659 | 0.7979 | 1.2533 | 0 | 3.267 | 0 | 2.606 | 1.128 | 0.8865 | 0.853 | 0 | 3.686 | 0 | 3.267 |
| 3 | 1.732 | 1.023 | 1.954 | 0.8862 | 1.1284 | 0 | 2.568 | 0 | 2.276 | 1.693 | 0.5907 | 0.888 | 0 | 4.358 | 0 | 2.574 |
| 4 | 1.500 | 0.729 | 1.628 | 0.9213 | 1.0854 | 0 | 2.266 | 0 | 2.088 | 2.059 | 0.4857 | 0.880 | 0 | 4.698 | 0 | 2.282 |
| 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.9400 | 1.0638 | 0 | 2.089 | 0 | 1.964 | 2.326 | 0.4299 | 0.864 | 0 | 4.918 | 0 | 2.114 |
| 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.9515 | 1.0510 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 | 2.534 | 0.3946 | 0.848 | 0 | 5.078 | 0 | 2.004 |
| 7 | 1.134 | 0.419 | 1.182 | 0.9594 | 1.0423 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 | 2.704 | 0.3698 | 0.833 | 0.204 | 5.204 | 0.076 | 1.924 |
| 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.9650 | 1.0363 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 | 2.847 | 0.3512 | 0.820 | 0.388 | 5.306 | 0.136 | 1.864 |
| 9 | 1.000 | 0.337 | 1.032 | 0.9693 | 1.0317 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 | 2.970 | 0.3367 | 0.808 | 0.547 | 5.393 | 0.184 | 1.816 |
| 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.9727 | 1.0281 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 | 3.078 | 0.3249 | 0.797 | 0.687 | 5.469 | 0.223 | 1.777 |
| 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.9754 | 1.0252 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 | 3.173 | 0.3152 | 0.787 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 |
| 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.9776 | 1.0229 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 | 3.258 | 0.3069 | 0.778 | 0.922 | 5.594 | 0.283 | 1.717 |
| 13 | 0.832 | 0.249 | 0.850 | 0.9794 | 1.0210 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 | 3.336 | 0.2998 | 0.770 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 |
| 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.9810 | 1.0194 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 | 3.407 | 0.2935 | 0.763 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 |
| 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.9823 | 1.0180 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 | 3.472 | 0.2880 | 0.756 | 1.203 | 5.741 | 0.347 | 1.653 |
| 16 | 0.750 | 0.212 | 0.763 | 0.9835 | 1.0168 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.526 | 3.532 | 0.2831 | 0.750 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 |
| 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.9845 | 1.0157 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 | 3.588 | 0.2787 | 0.744 | 1.356 | 5.820 | 0.378 | 1.622 |
| 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.9854 | 1.0148 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 | 3.640 | 0.2747 | 0.739 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.608 |
| 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.9862 | 1.0140 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 | 3.689 | 0.2711 | 0.734 | 1.487 | 5.891 | 0.403 | 1.597 |
| 20 | 0.671 | 0.180 | 0.680 | 0.9869 | 1.0133 | 0.510 | 1.490 | 0.504 | 1.470 | 3.735 | 0.2677 | 0.729 | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 |
| 21 | 0.655 | 0.173 | 0.663 | 0.9876 | 1.0126 | 0.523 | 1.477 | 0.516 | 1.459 | 3.778 | 0.2647 | 0.724 | 1.605 | 5.951 | 0.425 | 1.575 |
| 22 | 0.640 | 0.167 | 0.647 | 0.9882 | 1.0119 | 0.534 | 1.466 | 0.528 | 1.448 | 3.819 | 0.2618 | 0.720 | 1.659 | 5.979 | 0.434 | 1.566 |
| 23 | 0.626 | 0.162 | 0.633 | 0.9887 | 1.0114 | 0.545 | 1.455 | 0.539 | 1.438 | 3.858 | 0.2592 | 0.716 | 1.710 | 6.006 | 0.443 | 1.557 |
| 24 | 0.612 | 0.157 | 0.619 | 0.9892 | 1.0109 | 0.555 | 1.445 | 0.549 | 1.429 | 3.895 | 0.2567 | 0.712 | 1.759 | 6.031 | 0.451 | 1.548 |
| 25 | 0.600 | 0.153 | 0.606 | 0.9896 | 1.0105 | 0.565 | 1.435 | 0.559 | 1.420 | 3.931 | 0.2544 | 0.708 | 1.806 | 6.056 | 0.459 | 1.541 |

For *n* > 25.

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

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

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

Figura 36 – Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo (Fonte: Montgomery (2005))

ANEXO II – JOGO INTERATIVO PARA INTRODUÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO

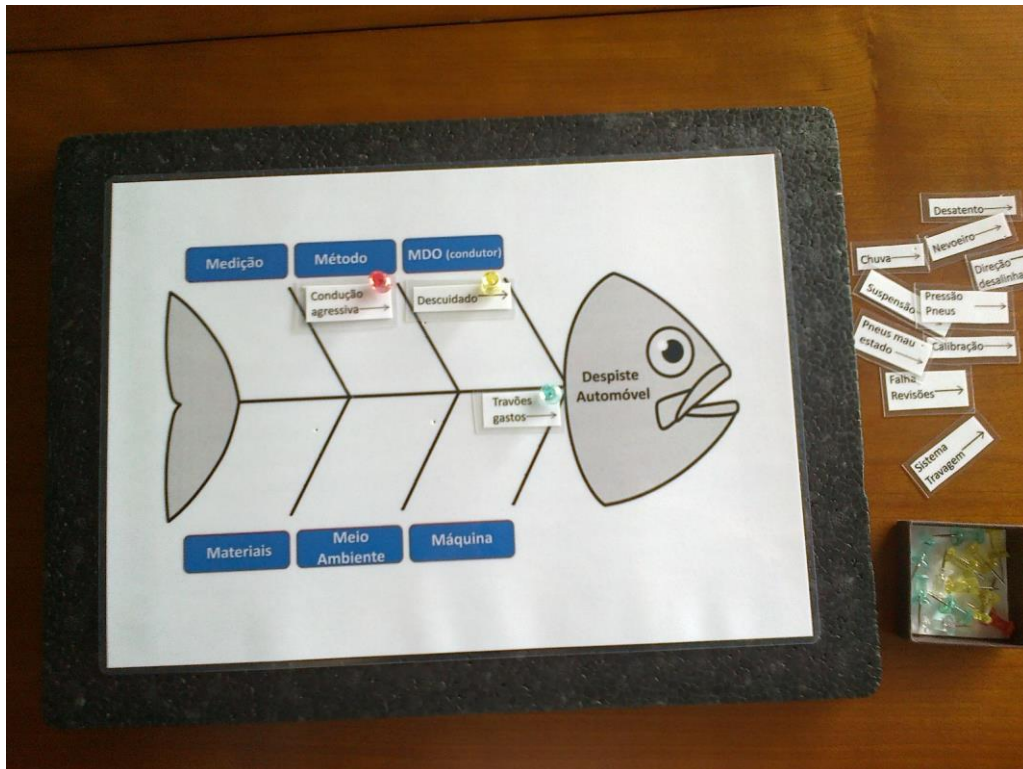


Figura 37 - Jogo interativo para explicação do diagrama de causa e efeito

ANEXO III - OPÇÕES DE VISUALIZAÇÃO DO DISPLAY DO APARELHO DE MEDIÇÃO

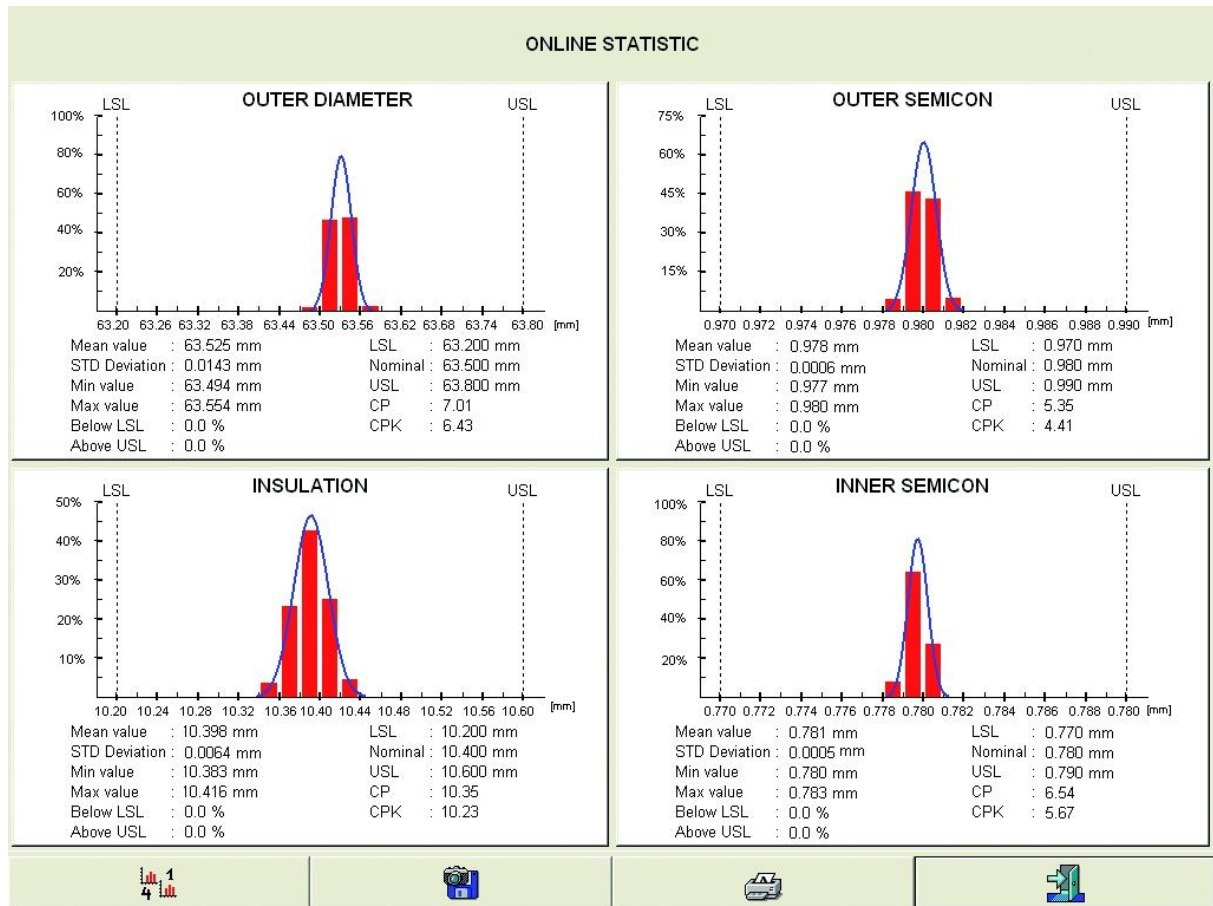


Figura 38 –Opção “Online Statistic” do aparelho de medição (Fonte: Sikora (N.D.))

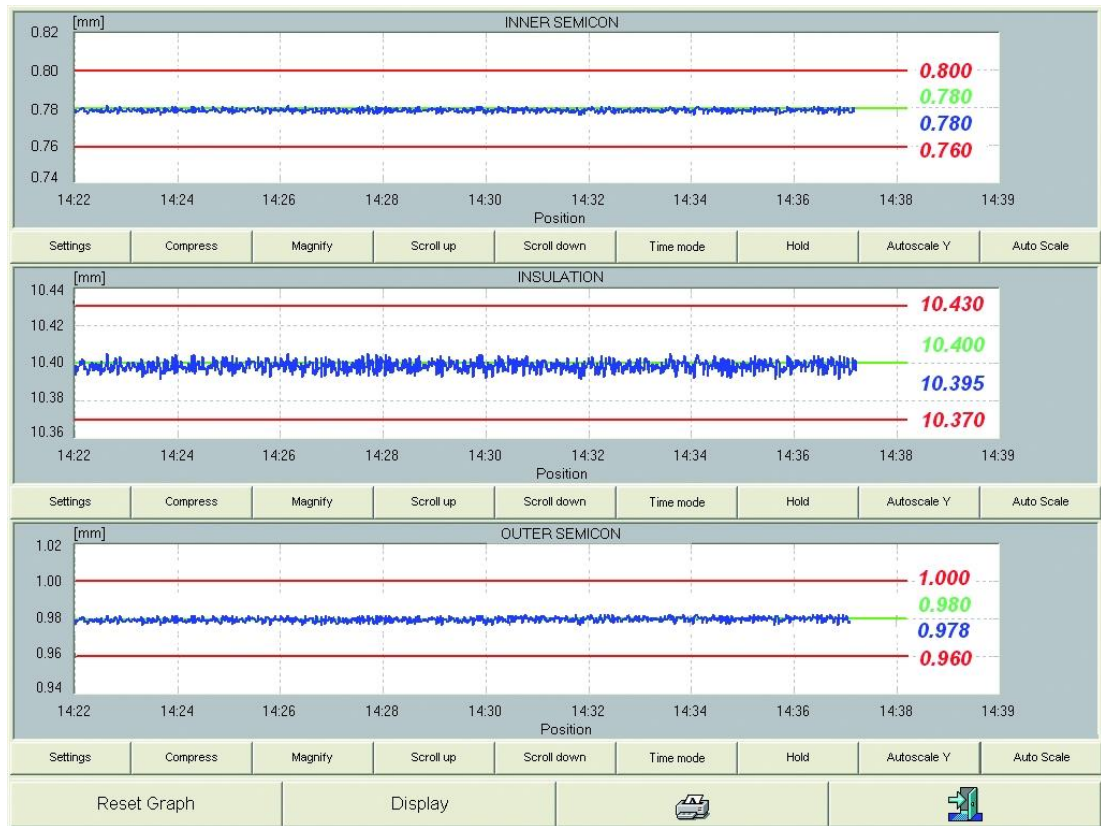


Figura 39 – Opção “Trend” do aparelho de medição (Fonte: Sikora (N.D.))

ANEXO IV – DADOS AMOSTRAGEM 1

| Amostra | L (m) | Vel. Linha (m/min) | Data/hora | Esp_XL (mm) | Esp_XR (mm) | Esp_YL (mm) | Esp_YR (mm) |
|---------|-------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 1 | 8,14 | 04.01.2013 17:37:54 | 3,66 | 3,58 | 3,68 | 3,57 |
| 2 | 356 | 12,21 | 04.01.2013 18:07:00 | 3,7 | 3,66 | 3,69 | 3,66 |
| 3 | 722 | 12,15 | 04.01.2013 18:37:00 | 3,68 | 3,61 | 3,68 | 3,63 |
| 4 | 1089 | 12,23 | 04.01.2013 19:07:04 | 3,67 | 3,59 | 3,65 | 3,64 |
| 5 | 1455 | 12,17 | 04.01.2013 19:37:03 | 3,67 | 3,62 | 3,67 | 3,64 |
| 6 | 1821 | 12,18 | 04.01.2013 20:07:02 | 3,67 | 3,64 | 3,68 | 3,7 |
| 7 | 2187 | 12,2 | 04.01.2013 20:37:01 | 3,77 | 3,56 | 3,66 | 3,68 |
| 8 | 2554 | 12,21 | 04.01.2013 21:07:05 | 3,69 | 3,56 | 3,67 | 3,72 |
| 9 | 2920 | 12,16 | 04.01.2013 21:37:05 | 3,74 | 3,57 | 3,65 | 3,69 |
| 10 | 3276 | 12,21 | 04.01.2013 22:07:05 | 3,72 | 3,64 | 3,61 | 3,66 |
| 11 | 3577 | 9,42 | 04.01.2013 22:37:03 | 3,66 | 3,66 | 3,64 | 3,68 |
| 12 | 3943 | 12,22 | 04.01.2013 23:07:04 | 3,64 | 3,61 | 3,62 | 3,7 |
| 13 | 4308 | 12,18 | 04.01.2013 23:37:00 | 3,74 | 3,59 | 3,63 | 3,68 |
| 14 | 4675 | 12,22 | 05.01.2013 00:07:03 | 3,68 | 3,65 | 3,64 | 3,68 |
| 15 | 5041 | 12,19 | 05.01.2013 00:37:03 | 3,67 | 3,63 | 3,64 | 3,66 |
| 16 | 5407 | 12,2 | 05.01.2013 01:07:03 | 3,71 | 3,57 | 3,61 | 3,66 |
| 17 | 5773 | 12,22 | 05.01.2013 01:37:02 | 3,65 | 3,62 | 3,64 | 3,64 |
| 18 | 6139 | 12,16 | 05.01.2013 02:07:01 | 3,66 | 3,57 | 3,65 | 3,64 |
| 19 | 6505 | 12,2 | 05.01.2013 02:37:01 | 3,7 | 3,59 | 3,66 | 3,68 |
| 20 | 6810 | 12,17 | 05.01.2013 03:07:00 | 3,69 | 3,56 | 3,7 | 3,61 |
| 21 | 7133 | 9,16 | 05.01.2013 03:37:00 | 3,73 | 3,62 | 3,71 | 3,65 |
| 22 | 7500 | 12,2 | 05.01.2013 04:07:04 | 3,74 | 3,59 | 3,7 | 3,64 |
| 23 | 7866 | 12,21 | 05.01.2013 04:37:01 | 3,66 | 3,58 | 3,67 | 3,64 |
| 24 | 8232 | 12,19 | 05.01.2013 05:07:00 | 3,72 | 3,56 | 3,68 | 3,65 |
| 25 | 8599 | 12,2 | 05.01.2013 05:37:05 | 3,71 | 3,59 | 3,68 | 3,6 |
| 26 | 8965 | 12,22 | 05.01.2013 06:07:02 | 3,71 | 3,61 | 3,68 | 3,63 |
| 27 | 9331 | 12,23 | 05.01.2013 06:37:01 | 3,69 | 3,62 | 3,71 | 3,63 |
| 28 | 9698 | 12,19 | 05.01.2013 07:07:03 | 3,72 | 3,61 | 3,71 | 3,65 |
| 29 | 10059 | 12,24 | 05.01.2013 07:37:04 | 3,68 | 3,65 | 3,64 | 3,64 |
| 30 | 10322 | 10,97 | 05.01.2013 08:07:02 | 3,7 | 3,56 | 3,73 | 3,58 |
| 31 | 10683 | 12,18 | 05.01.2013 08:37:01 | 3,66 | 3,57 | 3,67 | 3,66 |
| 32 | 11050 | 12,19 | 05.01.2013 09:07:03 | 3,69 | 3,6 | 3,71 | 3,59 |
| 33 | 11417 | 12,2 | 05.01.2013 09:37:04 | 3,7 | 3,55 | 3,66 | 3,66 |
| 34 | 11783 | 12,22 | 05.01.2013 10:07:01 | 3,66 | 3,64 | 3,69 | 3,63 |
| 35 | 12150 | 12,18 | 05.01.2013 10:37:03 | 3,7 | 3,63 | 3,68 | 3,64 |
| 36 | 12517 | 12,23 | 05.01.2013 11:07:03 | 3,73 | 3,59 | 3,69 | 3,64 |
| 37 | 12883 | 12,23 | 05.01.2013 11:37:00 | 3,71 | 3,57 | 3,7 | 3,64 |
| 38 | 13250 | 12,2 | 05.01.2013 12:07:02 | 3,68 | 3,63 | 3,77 | 3,59 |
| 39 | 13617 | 12,24 | 05.01.2013 12:37:04 | 3,67 | 3,61 | 3,66 | 3,61 |
| 40 | 13970 | 12,19 | 05.01.2013 13:07:05 | 3,73 | 3,58 | 3,69 | 3,65 |
| 41 | 14237 | 9,49 | 05.01.2013 13:37:04 | 3,73 | 3,62 | 3,67 | 3,6 |
| 42 | 14602 | 12,27 | 05.01.2013 14:07:03 | 3,74 | 3,62 | 3,78 | 3,61 |
| 43 | 14969 | 12,23 | 05.01.2013 14:37:04 | 3,7 | 3,68 | 3,68 | 3,66 |
| 44 | 15335 | 12,24 | 05.01.2013 15:07:01 | 3,68 | 3,58 | 3,69 | 3,66 |
| 45 | 15702 | 12,21 | 05.01.2013 15:37:01 | 3,7 | 3,58 | 3,71 | 3,6 |
| 46 | 16069 | 12,26 | 05.01.2013 16:07:02 | 3,89 | 3,59 | 3,67 | 3,63 |
| 47 | 16436 | 12,22 | 05.01.2013 16:37:03 | 3,7 | 3,57 | 3,68 | 3,63 |
| 48 | 16803 | 12,22 | 05.01.2013 17:07:04 | 3,65 | 3,64 | 3,71 | 3,63 |
| 49 | 17169 | 12,24 | 05.01.2013 17:37:00 | 3,7 | 3,62 | 3,71 | 3,64 |

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Contributo para a Melhoria da Qualidade de Processos de Extrusão na Indústria de Cabos Elétricos

| | | | | | | | |
|----|-------|-------|---------------------|------|------|------|------|
| 50 | 17536 | 12,23 | 05.01.2013 18:07:02 | 3,69 | 3,54 | 3,7 | 3,62 |
| 51 | 17873 | 12,23 | 05.01.2013 18:37:05 | 3,73 | 3,57 | 3,72 | 3,64 |
| 52 | 18192 | 8,65 | 05.01.2013 19:07:04 | 3,71 | 3,56 | 3,71 | 3,66 |
| 53 | 18558 | 12,21 | 05.01.2013 19:37:01 | 3,72 | 3,6 | 3,69 | 3,63 |
| 54 | 18925 | 12,24 | 05.01.2013 20:07:02 | 3,72 | 3,62 | 3,7 | 3,63 |
| 55 | 19292 | 12,26 | 05.01.2013 20:37:03 | 3,74 | 3,61 | 3,74 | 3,59 |
| 56 | 19659 | 12,17 | 05.01.2013 21:07:04 | 3,7 | 3,65 | 3,73 | 3,62 |
| 57 | 20394 | 12,26 | 05.01.2013 22:07:11 | 3,68 | 3,58 | 3,7 | 3,61 |
| 58 | 20759 | 12,21 | 05.01.2013 22:37:03 | 3,68 | 3,62 | 3,68 | 3,62 |
| 59 | 21118 | 12,21 | 05.01.2013 23:07:04 | 3,67 | 3,6 | 3,67 | 3,62 |
| 60 | 21402 | 9,77 | 05.01.2013 23:37:00 | 3,71 | 3,63 | 3,74 | 3,6 |
| 61 | 21684 | 11,61 | 06.01.2013 00:00:07 | 3,73 | 3,5 | 3,68 | 3,6 |
| 62 | 22135 | 12,22 | 06.01.2013 00:37:03 | 3,69 | 3,6 | 3,71 | 3,61 |
| 63 | 22501 | 12,22 | 06.01.2013 01:07:02 | 3,68 | 3,59 | 3,66 | 3,61 |
| 64 | 22867 | 12,19 | 06.01.2013 01:37:01 | 3,68 | 3,59 | 3,73 | 3,61 |
| 65 | 23233 | 12,19 | 06.01.2013 02:07:00 | 3,67 | 3,6 | 3,72 | 3,57 |
| 66 | 23599 | 12,22 | 06.01.2013 02:37:01 | 3,69 | 3,61 | 3,72 | 3,58 |
| 67 | 23966 | 12,2 | 06.01.2013 03:07:04 | 3,66 | 3,59 | 3,71 | 3,61 |
| 68 | 24332 | 12,22 | 06.01.2013 03:37:03 | 3,67 | 3,65 | 3,69 | 3,58 |
| 69 | 24698 | 12,23 | 06.01.2013 04:07:02 | 3,68 | 3,64 | 3,74 | 3,58 |
| 70 | 25002 | 12,2 | 06.01.2013 04:37:01 | 3,66 | 3,56 | 3,72 | 3,56 |
| 71 | 25359 | 11,92 | 06.01.2013 05:07:05 | 3,68 | 3,56 | 3,66 | 3,63 |
| 72 | 25725 | 12,16 | 06.01.2013 05:37:03 | 3,68 | 3,6 | 3,74 | 3,61 |
| 73 | 26080 | 12,23 | 06.01.2013 06:06:07 | 3,7 | 3,58 | 3,69 | 3,59 |
| 74 | 26457 | 12,22 | 06.01.2013 06:37:01 | 3,68 | 3,63 | 3,75 | 3,59 |
| 75 | 26824 | 12,16 | 06.01.2013 07:07:04 | 3,69 | 3,58 | 3,7 | 3,57 |
| 76 | 27190 | 12,15 | 06.01.2013 07:37:03 | 3,71 | 3,62 | 3,75 | 3,62 |
| 77 | 27556 | 12,18 | 06.01.2013 08:07:03 | 3,67 | 3,6 | 3,7 | 3,59 |
| 78 | 27922 | 12,22 | 06.01.2013 08:37:01 | 3,72 | 3,61 | 3,71 | 3,62 |
| 79 | 28288 | 12,23 | 06.01.2013 09:07:00 | 3,68 | 3,62 | 3,69 | 3,66 |
| 80 | 28655 | 12,25 | 06.01.2013 09:37:04 | 3,72 | 3,65 | 3,71 | 3,61 |

ANEXO V – DADOS AMOSTRAGEM 2

| Amostra | L (m) | Vel. Linha (m/min) | Data/hora | Esp_XL (mm) | Esp_XR (mm) | Esp_YL (mm) | Esp_YR (mm) |
|---------|-------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 101 | 12,17 | 04.01.2013 17:46:06 | 3,71 | 3,59 | 3,68 | 3,63 |
| 2 | 454 | 12,21 | 04.01.2013 18:15:02 | 3,69 | 3,64 | 3,68 | 3,64 |
| 3 | 820 | 12,17 | 04.01.2013 18:45:02 | 3,68 | 3,6 | 3,67 | 3,65 |
| 4 | 1186 | 12,18 | 04.01.2013 19:15:01 | 3,68 | 3,6 | 3,67 | 3,64 |
| 5 | 1552 | 12,22 | 04.01.2013 19:45:00 | 3,68 | 3,58 | 3,7 | 3,6 |
| 6 | 1919 | 12,23 | 04.01.2013 20:15:04 | 3,65 | 3,59 | 3,64 | 3,64 |
| 7 | 2285 | 12,18 | 04.01.2013 20:45:04 | 3,78 | 3,51 | 3,63 | 3,7 |
| 8 | 2651 | 12,22 | 04.01.2013 21:15:01 | 3,74 | 3,56 | 3,66 | 3,63 |
| 9 | 3017 | 12,17 | 04.01.2013 21:45:01 | 3,75 | 3,52 | 3,67 | 3,66 |
| 10 | 3349 | 12,19 | 04.01.2013 22:15:01 | 3,69 | 3,64 | 3,68 | 3,66 |
| 11 | 3807 | 12,2 | 04.01.2013 22:55:54 | 3,57 | 3,6 | 3,63 | 3,63 |
| 12 | 4040 | 12,19 | 04.01.2013 23:15:01 | 3,66 | 3,64 | 3,7 | 3,66 |
| 13 | 4406 | 12,14 | 04.01.2013 23:45:01 | 3,67 | 3,6 | 3,62 | 3,66 |
| 14 | 4772 | 12,25 | 05.01.2013 00:15:00 | 3,69 | 3,64 | 3,67 | 3,71 |
| 15 | 5138 | 12,21 | 05.01.2013 00:45:02 | 3,66 | 3,61 | 3,66 | 3,69 |
| 16 | 5504 | 12,23 | 05.01.2013 01:15:00 | 3,65 | 3,66 | 3,68 | 3,69 |
| 17 | 5871 | 12,2 | 05.01.2013 01:45:04 | 3,69 | 3,66 | 3,65 | 3,65 |
| 18 | 6237 | 12,23 | 05.01.2013 02:15:03 | 3,68 | 3,6 | 3,71 | 3,63 |
| 19 | 6603 | 12,19 | 05.01.2013 02:45:02 | 3,69 | 3,61 | 3,65 | 3,64 |
| 20 | 6884 | 12,19 | 05.01.2013 03:15:05 | 3,7 | 3,61 | 3,71 | 3,65 |
| 21 | 7277 | 12,22 | 05.01.2013 03:48:49 | 3,72 | 3,58 | 3,71 | 3,64 |
| 22 | 7597 | 12,2 | 05.01.2013 04:15:00 | 3,65 | 3,64 | 3,68 | 3,62 |
| 23 | 7964 | 12,23 | 05.01.2013 04:45:04 | 3,7 | 3,57 | 3,73 | 3,62 |
| 24 | 8330 | 12,21 | 05.01.2013 05:15:02 | 3,72 | 3,57 | 3,69 | 3,62 |
| 25 | 8696 | 12,2 | 05.01.2013 05:45:01 | 3,7 | 3,56 | 3,7 | 3,6 |
| 26 | 9063 | 12,21 | 05.01.2013 06:15:04 | 3,65 | 3,61 | 3,69 | 3,59 |
| 27 | 9429 | 12,24 | 05.01.2013 06:45:02 | 3,67 | 3,61 | 3,69 | 3,57 |
| 28 | 9796 | 12,21 | 05.01.2013 07:15:04 | 3,66 | 3,63 | 3,69 | 3,61 |
| 29 | 10133 | 12,28 | 05.01.2013 07:45:25 | 3,71 | 3,6 | 3,66 | 3,67 |
| 30 | 10307 | 12,22 | 05.01.2013 08:05:29 | 3,71 | 3,48 | 3,68 | 3,6 |
| 31 | 10781 | 12,16 | 05.01.2013 08:45:02 | 3,69 | 3,6 | 3,69 | 3,6 |
| 32 | 11148 | 12,25 | 05.01.2013 09:15:04 | 3,65 | 3,6 | 3,7 | 3,63 |
| 33 | 11514 | 12,21 | 05.01.2013 09:45:00 | 3,66 | 3,62 | 3,66 | 3,64 |
| 34 | 11881 | 12,23 | 05.01.2013 10:15:02 | 3,62 | 3,61 | 3,7 | 3,62 |
| 35 | 12248 | 12,25 | 05.01.2013 10:45:03 | 3,67 | 3,59 | 3,64 | 3,64 |
| 36 | 12614 | 12,28 | 05.01.2013 11:15:01 | 3,7 | 3,62 | 3,7 | 3,6 |
| 37 | 12981 | 12,22 | 05.01.2013 11:45:01 | 3,69 | 3,56 | 3,69 | 3,61 |
| 38 | 13348 | 12,26 | 05.01.2013 12:15:03 | 3,71 | 3,57 | 3,71 | 3,63 |
| 39 | 13714 | 12,18 | 05.01.2013 12:45:01 | 3,7 | 3,61 | 3,71 | 3,63 |
| 40 | 14039 | 12,22 | 05.01.2013 13:15:01 | 3,65 | 3,58 | 3,69 | 3,66 |
| 41 | 14196 | 12,23 | 05.01.2013 13:33:04 | 3,68 | 3,59 | 3,67 | 3,6 |
| 42 | 14700 | 12,18 | 05.01.2013 14:15:03 | 3,69 | 3,62 | 3,73 | 3,52 |
| 43 | 15066 | 12,26 | 05.01.2013 14:45:00 | 3,71 | 3,6 | 3,67 | 3,6 |
| 44 | 15433 | 12,27 | 05.01.2013 15:15:01 | 3,7 | 3,63 | 3,7 | 3,63 |
| 45 | 15800 | 12,2 | 05.01.2013 15:45:02 | 3,67 | 3,61 | 3,71 | 3,64 |
| 46 | 16167 | 12,2 | 05.01.2013 16:15:03 | 3,68 | 3,52 | 3,66 | 3,63 |
| 47 | 16534 | 12,25 | 05.01.2013 16:45:04 | 3,7 | 3,59 | 3,69 | 3,65 |
| 48 | 16900 | 12,26 | 05.01.2013 17:15:00 | 3,65 | 3,59 | 3,69 | 3,61 |
| 49 | 17267 | 12,2 | 05.01.2013 17:45:01 | 3,67 | 3,58 | 3,64 | 3,59 |
| 50 | 17634 | 12,19 | 05.01.2013 18:15:05 | 3,73 | 3,6 | 3,72 | 3,59 |
| 51 | 17942 | 12,23 | 05.01.2013 18:45:02 | 3,73 | 3,6 | 3,71 | 3,65 |
| 52 | 18330 | 12,21 | 05.01.2013 19:18:22 | 3,67 | 3,52 | 3,7 | 3,6 |

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Contributo para a Melhoria da Qualidade de Processos de Extrusão na Indústria de Cabos Elétricos

| | | | | | | | |
|----|-------|-------|---------------------|------|------|------|------|
| 53 | 18656 | 12,18 | 05.01.2013 19:45:02 | 3,66 | 3,64 | 3,7 | 3,63 |
| 54 | 19023 | 12,23 | 05.01.2013 20:15:03 | 3,75 | 3,59 | 3,72 | 3,62 |
| 55 | 19390 | 12,23 | 05.01.2013 20:45:04 | 3,65 | 3,61 | 3,69 | 3,61 |
| 56 | 19756 | 12,17 | 05.01.2013 21:15:00 | 3,63 | 3,58 | 3,66 | 3,63 |
| 57 | 20123 | 12,26 | 05.01.2013 21:45:01 | 3,64 | 3,64 | 3,71 | 3,6 |
| 58 | 20490 | 12,23 | 05.01.2013 22:15:02 | 3,69 | 3,6 | 3,7 | 3,59 |
| 59 | 20856 | 12,22 | 05.01.2013 22:45:00 | 3,63 | 3,6 | 3,69 | 3,63 |
| 60 | 21192 | 12,19 | 05.01.2013 23:15:02 | 3,68 | 3,59 | 3,72 | 3,63 |
| 61 | 21702 | 12,22 | 06.01.2013 00:01:35 | 3,75 | 3,53 | 3,67 | 3,61 |
| 62 | 21866 | 12,23 | 06.01.2013 00:15:01 | 3,69 | 3,6 | 3,76 | 3,63 |
| 63 | 22233 | 12,2 | 06.01.2013 00:45:05 | 3,69 | 3,64 | 3,74 | 3,53 |
| 64 | 22599 | 12,2 | 06.01.2013 01:15:05 | 3,69 | 3,64 | 3,69 | 3,63 |
| 65 | 22965 | 12,22 | 06.01.2013 01:45:03 | 3,69 | 3,65 | 3,76 | 3,57 |
| 66 | 23331 | 12,26 | 06.01.2013 02:15:02 | 3,72 | 3,59 | 3,73 | 3,59 |
| 67 | 23697 | 12,2 | 06.01.2013 02:45:01 | 3,66 | 3,62 | 3,71 | 3,56 |
| 68 | 24063 | 12,19 | 06.01.2013 03:15:01 | 3,68 | 3,62 | 3,75 | 3,57 |
| 69 | 24430 | 12,19 | 06.01.2013 03:45:04 | 3,65 | 3,62 | 3,73 | 3,57 |
| 70 | 24796 | 12,21 | 06.01.2013 04:15:05 | 3,69 | 3,63 | 3,68 | 3,63 |
| 71 | 25077 | 12,19 | 06.01.2013 04:43:59 | 3,69 | 3,63 | 3,72 | 3,58 |
| 72 | 25456 | 12,3 | 06.01.2013 05:15:01 | 3,68 | 3,59 | 3,73 | 3,63 |
| 73 | 25823 | 12,13 | 06.01.2013 05:45:04 | 3,68 | 3,63 | 3,77 | 3,63 |
| 74 | 26189 | 12,21 | 06.01.2013 06:15:03 | 3,69 | 3,64 | 3,69 | 3,62 |
| 75 | 26555 | 12,24 | 06.01.2013 06:45:02 | 3,66 | 3,63 | 3,71 | 3,59 |
| 76 | 26921 | 12,22 | 06.01.2013 07:15:02 | 3,64 | 3,62 | 3,71 | 3,59 |
| 77 | 27287 | 12,31 | 06.01.2013 07:45:00 | 3,7 | 3,55 | 3,74 | 3,58 |
| 78 | 27654 | 12,18 | 06.01.2013 08:15:04 | 3,67 | 3,65 | 3,7 | 3,61 |
| 79 | 28020 | 12,2 | 06.01.2013 08:45:04 | 3,7 | 3,63 | 3,75 | 3,61 |
| 80 | 28386 | 12,23 | 06.01.2013 09:15:02 | 3,69 | 3,6 | 3,73 | 3,57 |

ANEXO VI – SUGESTÃO PARA ALTERAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE SOLDADURA



Figura 40 – Localização atual das ferramentas de retificação de soldadura

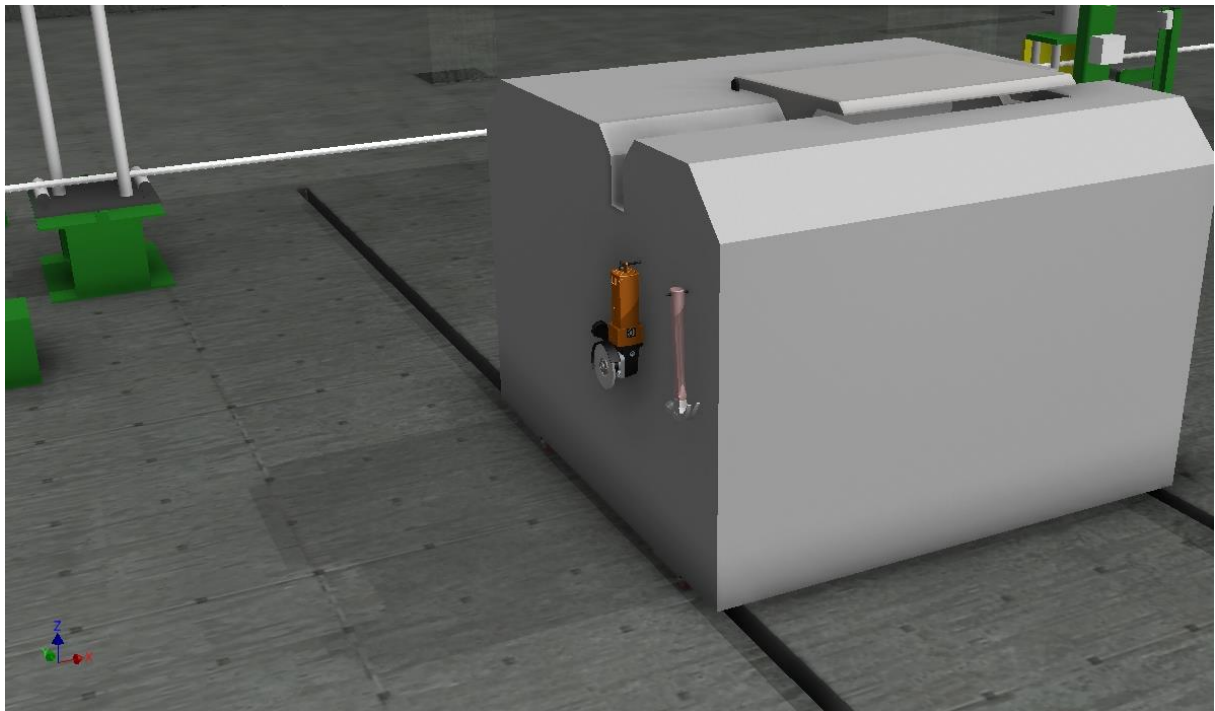


Figura 41 – Organização de ferramentas proposta

ANEXO VII - FLUXOGRAMA DO PLANO DE MELHORIA DA QUALIDADE DO PROCESSO

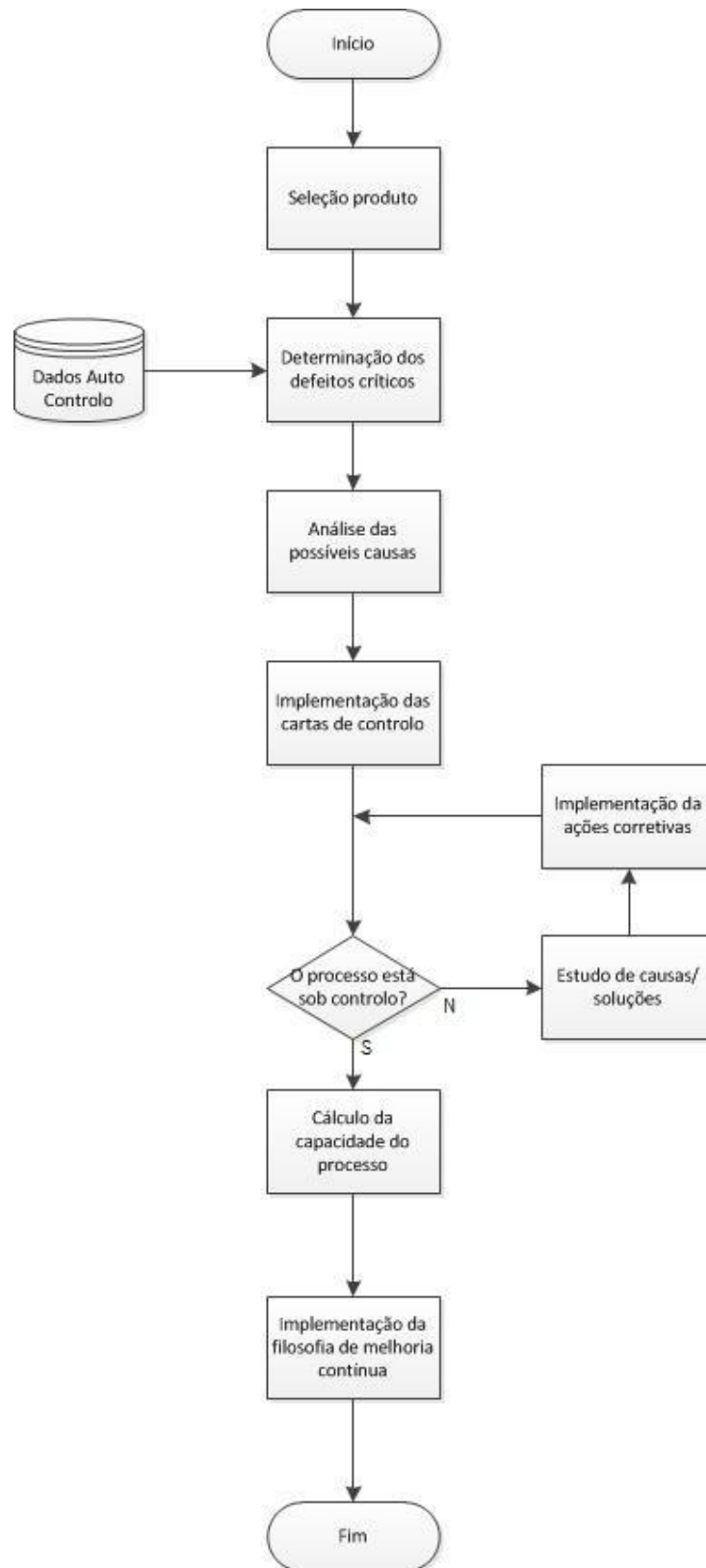


Figura 42 – Plano de melhoria da qualidade do processo