

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PDCA Aplicado à Redução de Não Conformidades na Extrusão de
Polímeros para Isolamento de Cabos Elétricos**

GUSTAVO SOUSA SCASSIOTTI

Orientador: Eraldo Jannone da Silva - Professor Doutor

São Carlos

2013

GUSTAVO SOUSA SCASSIOTTI

**PDCA Aplicado à Redução de Não Conformidades na Extrusão
de Plásticos Polímeros para Isolamento de Cabos Elétricos**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de
São Paulo para a Obtenção do Título
de Especialista em Engenharia de
Produção.

Orientador: Eraldo Jannone da Silva –
Professor Doutor

São Carlos
2013

Autorizo a publicação e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Scassiotti, Gustavo Sousa

S277p PDCA Aplicado à Redução de Não Conformidades na Extrusão de Polímeros para Isolamento de Cabos Elétricos / Gustavo Sousa Scassiotti; orientador Eraldo Jannone Silva. São Carlos, 2013.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. PDCA. 2. Não Conformidade. 3. Extrusão. 4. Polímeros. 5. Cabos Elétricos. 6. Ferramentas da Qualidade. 7. Melhoria Contínua. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por compreender os momentos em que, mesmo em casa, estava ausente e focado no trabalho.

Agradeço à minha namorada, Thais, pela compreensão nos momentos em que deixamos de estar juntos para que este trabalho fosse realizado, e também pelo apoio e incentivo ao longo do curso.

Ao Sr. Carlos Shiotsuki, que Deus o tenha, e ao Sr. Paulo Oliani, que me ensinaram grande parte do que conheço sobre o processo de extrusão e cabos elétricos.

Agradeço, também, à empresa que possibilitou a realização deste trabalho em suas linhas de produção.

Ao professor Eraldo e à professora Elenise pela orientação e direcionamento das atividades que possibilitaram a realização deste trabalho.

Finalmente, agradeço a todos os amigos feitos no curso, pelo convívio nestes 2 anos e pelo companheirismo dentro e fora das salas de aula.

SCASSIOTTI, Gustavo. **PDCA Aplicado à Redução de Não Conformidades na Extrusão de Polímeros para Isolamento de Cabos Elétricos**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2013.

RESUMO

A razão de uma empresa existir é obter lucro. A busca por sobrevivência ou crescimento no mercado as obriga a se tornarem cada vez mais eficientes para produzir mais reduzindo os custos. Desperdícios nas linhas de produção geram prejuízos para a empresa, e saber onde eles estão e como eliminá-los é fundamental para o sucesso do negócio.

Um dos desperdícios mais comuns nas empresas de fios e cabos elétricos são as não conformidades geradas na extrusão de polímeros para isolamento e capa dos cabos. Esse é um processo que sofre influência de muitas variáveis e depois que um problema ocorreu em uma linha de extrusão, não há como parar a máquina, fazer o reparo e dar continuidade na produção. Isso gera retrabalho dos cabos isolados e algumas vezes, quando o reparo não é possível, o material tem que ser sucateado e iniciada a produção de um novo cabo.

O sucesso na redução destes problemas está diretamente ligado à forma de análise da informação e à tratativa das ocorrências. Esse sucesso pode ser alcançado mais facilmente com a aplicação de uma metodologia de melhoria contínua aliada às ferramentas da qualidade. Dentre as metodologias existentes, o ciclo PDCA é um dos mais dominados e quando feito corretamente, com ações bem orientadas à meta que se almeja, traz excelentes resultados.

Palavras-Chave

PDCA; Não Conformidade; Extrusão; Polímeros; Cabos Elétricos; Ferramentas da Qualidade; Melhoria Contínua.

ABSTRACT

The reason for a company exists is obtain profit. The search for survival or growth in market forces them to become more efficient to produce more reducing the costs. Wastes on production lines generate losses for the company, and know where they are and how to eliminate them is critical to business success.

One of more common wastes in companies of wires and electric cables are nonconformities generated in polymer extrusion for insulation and jacket of cables. This is a process that is influenced by many variables and after a problem occurred in an extrusion line, there's no how to stopping the machine, make the repair and continue producing. This generates rework of insulated cables and sometimes, when the repair is not possible, the material has to be scrapped and started the production of a new cable.

The success in reducing these problems is directly related to how to analyze the information and how to treat occurrences. This success can be achieved more easily with the application of a methodology for continuous improvement combined with quality tools. Among the existing methodologies, the PDCA cycle is one of the most widespread and when made properly, with well targeted actions to target that aims brings excellent results.

Keywords

PDCA; Nonconformity; Extrusion; Polymers; Electric Cables; Quality Tools, Continuous Improvement.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO PDCA.....	7
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	13
FIGURA 3 – POR QUÊ? POR QUÊ?	14
FIGURA 4 – EXEMPLOS DE PRODUTOS EXTRUDADOS.....	18
FIGURA 5 – TIPOS DE EXTRUSÃO.....	20
FIGURA 6 – EXTRUSORA DE ROSCA ÚNICA.....	24
FIGURA 7 – DOSADOR GRAVIMÉTRICO	25
FIGURA 8 – ROSCA DA EXTRUSORA	27
FIGURA 9 – CABEÇA DE EXTRUSÃO	29
FIGURA 10 – LINHA DE EXTRUSÃO	29
FIGURA 11 – ESTRUTURAS DE POLÍMEROS	33
FIGURA 12 – POLIMERIZAÇÃO POLIETILENO	33
FIGURA 13 – CABO FURADO.....	38
FIGURA 14 – MÁ FORMAÇÃO DO CONDUTOR.....	38
FIGURA 15 – VARIAÇÃO NO FLUXO DE COMPOSTO	39
FIGURA 16 - FITA DE ABSORÇÃO DE UMIDADE RASGADA.....	39
FIGURA 17 - ISOLAMENTO ESMAGADO	40
FIGURA 18 – MASSA FRIA	40
FIGURA 19 – DANO MECÂNICO NA LINHA DE EXTRUSÃO.....	41
FIGURA 20 – FITA NA CAPA INTERNA	41
FIGURA 21 – FITA POLIÉSTER ROMPIDA.....	42
FIGURA 22 – COMPOSTO QUEIMADO	42
FIGURA 23 – TELA DE FILTRAGEM.....	43
FIGURA 24 – FIO LEVANTADO DO CONDUTOR FLEXÍVEL	43
FIGURA 25 – XLPE PRÉ-RETICULADO	44
FIGURA 26 – DIE DROOL	44
FIGURA 27 – MATÉRIA PRIMA CONTAMINADA.....	45
FIGURA 28 – UMIDADE NA CAPA INTERNA	45
FIGURA 29 – BOLHA NA CAMADA SEMICONDUTORA	46
FIGURA 30 – BOLHA DE AR DENTRO DA CALHA DE RESFRIAMENTO	46
FIGURA 31 – CABO DANIFICADO POR EMPILHADEIRA	47
FIGURA 32 – XLPE PRÉ-RETICULADO 2.....	47
FIGURA 33 – EXCESSO DE NEGRO DE FUMO	48

FIGURA 34 – POROSIDADE	48
FIGURA 35 – CABO FORA DE CENTRO	49
FIGURA 36 – CABO FRISADO	49
FIGURA 37 – LIMALHA DE ALUMÍNIO	50
FIGURA 38 – CORDA ABERTA	50
FIGURA 39 – MAL EMBOBINAMENTO	51
FIGURA 40 – DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO DE BOLHAS NA SEMICONDUTORA	65
FIGURA 41 – DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO DE QUEBRAS NO CONDUTOR	65
FIGURA 42 POR QUÊ? POR QUÊ? BOLHAS NA SEMICONDUTORA.....	66
FIGURA 43 – POR QUÊ? POR QUÊ? QUEBRA DO CONDUTOR NA EXTRUSORA	67

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DIAGRAMA DE PARETO.....	11
GRÁFICO 2 – PARETO NÃO CONFORMIDADES.....	56
GRÁFICO 3 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO POR MÁQUINA.....	58
GRÁFICO 4 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO POR TIPO DE COMPOSTO.....	59
GRÁFICO 5 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO NA EXTRUSORA #5.....	59
GRÁFICO 6 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO NA EXTRUSORA #2.....	60
GRÁFICO 7 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO NA EXTRUSORA #1.....	60
GRÁFICO 8 – LANCE IRREGULAR POR MÁQUINA.....	61
GRÁFICO 9 – LANCE IRREGULAR POR FAMÍLIA DE CABO.....	62
GRÁFICO 10 – LANCE IRREGULAR NAS EXTRUSORAS #1, #2 E #5.....	63
GRÁFICO 11 – DESDOBRAMENTO LANCE CURTO.....	63
GRÁFICO 12 – NÃO CONFORMIDADES APÓS PDCA.....	71
GRÁFICO 13 – ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO APÓS PDCA.....	72
GRÁFICO 14 - NC's #2 - Pós PDCA.....	73
GRÁFICO 15 - NC's #5 - Pós PDCA.....	74
GRÁFICO 16 - - NC's #1 - Pós PDCA.....	74
GRÁFICO 17 – LANCE IRREGULAR APÓS PDCA.....	75
GRÁFICO 18 - DESDOBRAMENTO LANCE CURTO - Pós PDCA.....	76
GRÁFICO 19 - LANCE IRREGULAR POR FAMÍLIA - Pós PDCA.....	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PLANO DE AÇÃO 5W 2 H	69
---------------------------------------	----

Lista de Siglas

5W 2H – *What, Why, Where, When, Who, How, How Much*

6M – Método, Máquina, Mão de Obra, Meio Ambiente, Medição, Material

ABNT – Associação brasileira de Normas Técnicas

CQ – Controle de Qualidade

ISO – *International Organization for Standardization*

JUSE – União Japonesa de Cientistas e Engenheiros

NBR – Norma Brasileira

NC – Não Conformidade / Não Conforme

OSHAS – Occupational Health and Safety Assessment Series

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

SDCA – *Standardization, Do, Check, Act*

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SGI – Sistema de Gestão Integrada

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE SIGLAS	12
SUMÁRIO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
JUSTIFICATIVA/PROBLEMA.....	3
OBJETIVO GERAL	5
OBJETIVO ESPECÍFICO	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
PDCA.....	6
PLAN (P).....	8
DIAGRAMA DE PARETO.....	10
DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	11
POR QUÊ? POR QUÊ?	13
5W 2H.....	14
Do (D).....	15
CHECK (C)	16
ACT (A).....	17
EXTRUSÃO	18
EXTRUSORA	22
EXTRUSORA DE ROSCA ÚNICA	23
LINHA DE EXTRUSÃO.....	29
POLÍMEROS	32
NORMAS	35
NÃO CONFORMIDADE	37
TIPOS DE NÃO CONFORMIDADES EM CABOS ELÉTRICOS	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	52

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA	52
APRESENTAÇÃO DO MÉTODO	53
PDCA NÃO CONFORMIDADES.....	55
ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO.....	58
LANCE IRREGULAR.....	61
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	70
RESULTADOS	70
5. CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS.....	80

1. INTRODUÇÃO

Indispensável para as tecnologias existentes e a realidade do mundo moderno, a energia elétrica é hoje a forma de abastecimento energético mais utilizada no mundo. Descoberta pelo filósofo grego Tales de Mileto, ela ganhou destaque quando notou-se que através dela era possível fornecer luz, calor e energia para alimentar diversos equipamentos que facilitam as atividades humanas. A eletricidade é uma energia extremamente flexível que pode ser utilizada em diversos setores como: transportes, alimentação, saúde, indústrias, educação, entre outros. Independentemente do tipo de geração (hidroelétricas, termoeletricas, nuclear etc.), sua transmissão e distribuição são feitas através de cabos condutores de eletricidade.

A eletricidade exige alguns cuidados em função do risco que ela oferece. Por ser perceptível somente ao toque, condutores de qualidade são fundamentais para que seu transporte ofereça segurança às pessoas e também aos equipamentos que dependem dessa fonte de energia para funcionar. Para garantir que as características mínimas de qualidade e segurança sejam cumpridas, os cabos elétricos devem ser fabricados com base em normas que, no Brasil, são de responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Segundo definição da norma ABNT NBR 5471:1986, condutor elétrico é um produto metálico de seção transversal invariável utilizado para transportar energia elétrica ou transmitir sinais elétricos. Comumente, para a transmissão e distribuição de energia elétrica, utilizam-se fios e cabos como condutores. A diferença entre os dois está em o fio ser um condutor único de metal com seção transversal circular, geralmente alumínio ou cobre, e cabo um conjunto de fios encordoados helicoidalmente cuja finalidade é ter um produto flexível com maior seção transversal. Esses condutores podem ser nus (sem revestimento, isolamento ou camada protetora de qualquer espécie), geralmente utilizados em redes aéreas para transmissão de energia, distribuição primária e aterramento; ou isolados (revestidos com material com propriedades isolantes), utilizados para distribuição de eletricidade em cidades e instalações industriais e residenciais.

O isolamento desses condutores é feito através do processo de extrusão de polímeros, processo de conformação mecânica através do qual este material é aquecido e forçado a passar por uma ferramenta modeladora. Esse processo é realizado em máquinas denominadas extrusoras, equipamento em que o plástico é alimentado através de um dosador de matéria prima que alimenta um cilindro (camisa) aquecido para fundição do polímero. O cilindro contém em seu interior a rosca de transporte e compressão que cisalha o polímero granulado e o leva até a cabeça de extrusão, que contém a ferramenta modeladora. Esse é um processo de complexidade elevada onde um conjunto de fatores contribui para a qualidade e acabamento do cabo isolado, dentre os quais podemos citar o perfil de temperatura das zonas da camisa, umidade da matéria prima e dosagem do composto, entre outros.

Um cabo isolado com qualidade garante o atendimento das normas regentes e a conformidade do produto segundo a norma NBR ISO9000, que define não conformidade como o não atendimento aos requisitos. Ou seja, o não atendimento das expectativas do cliente ou dos requisitos mínimos exigidos pela norma regente sobre o mesmo, que garante qualidade mínima na produção deste item. Segundo definições dessa mesma norma (NBR ISO9000), a solução de uma não conformidade pode ser tratada de duas maneiras diferentes, com correção ou ação corretiva. A diferença entre estas duas tratativas está no fato de a correção ser uma ação imediata que elimina a não conformidade no momento específico, porém, não impede que ele torne a aparecer. Já ação corretiva envolve uma análise para se chegar à causa raiz do problema e eliminá-la para que não apareça novamente.

Para uma empresa cuja finalidade é obter lucro, a fabricação de um item não conforme representa desperdício de recursos que poderiam ser convertidos em retorno positivo. A qualidade ou conformidade de um produto está diretamente ligada à produtividade da empresa, pois a produção de itens conformes significa maior *output* (saída) de produtos acabados que serão vendidos e trarão lucro para a companhia. Já na fabricação de itens não conformes se perde tempo e recurso produzindo algo que será descartado ou retrabalhado, o que trará ainda mais gastos.

Por esses motivos, se faz necessário a aplicação de uma metodologia de melhoria contínua, aliada à ferramentas da qualidade, visando à lucratividade da empresa. Um dos métodos mais conhecidos e difundidos, e indicado pela própria NBR ISO9000, é o método PDCA (*plan, do, check, act*). Segundo RODRIGUES (2006, p.89), este é um método de gestão direcionado a atingir metas garantindo a eficácia do processo. O método consiste inicialmente em identificar o problema, recolher informações para análise e definir a meta que se almeja alcançar, bem como estabelecer indicadores para acompanhar a evolução do trabalho. Em seguida são analisados os dados para chegar à causa raiz do problema e busca-se soluções para eliminação ou mitigação fator causador. Então é criado em um plano para implementação das ações (*plan*) e inicia-se a execução das atividades, juntamente com a capacitação das pessoas envolvidas (*do*). A terceira etapa é medir os resultados e os desvios em relação ao que foi planejado, tomando como base os pontos de controle implementados (*check*), e com isso identificando a eficiência do planejamento. Se este foi falho, ações são necessárias para corrigir os desvios do que foi planejado e se alcançar a meta (*act*). Como função da última etapa (*act*), quando as ações resultaram em bom resultado, também está a padronização das melhorias e a definição de uma nova meta, buscando a melhoria contínua.

JUSTIFICATIVA/PROBLEMA

A geração de não conformidades em um processo de produção traz custos desnecessários para a empresa. RODRIGUES (2006, p.82) separa o custo da não qualidade em custos diretos, como sendo o desperdício dos recursos envolvidos na fabricação do item não conforme, e indiretos, que são custos associados ao não atendimento das necessidades e expectativas do cliente.

Como custos diretos de produção é possível citar o tempo de máquina disponibilizada pra fabricar o produto, mão de obra para operação, energia consumida, insumos, entre outros. Além dos custos de produção, existe também o custo de retrabalho, que pode ser necessário em algumas situações. Porém, em alguns casos, o problema se agrava pelo fato de o material não poder ser

retrabalhado, como é o caso de determinados materiais utilizados no isolamento de cabos, por exemplo, os termofixos. Para uma empresa obter sucesso financeiro é importante realizar em sua produção apenas atividades que agregam valor ao produto final, ou atividades indispensáveis para a fabricação, o que não é o caso de um retrabalho. O retrabalho consumirá novamente o tempo de máquina, mão de obra e energia, o que aumentará o custo de fabricação e por consequência reduzirá o lucro sobre este produto. E ainda, nos casos em que não é possível reparar o produto danificado, o material precisa ser descartado, gerando sucata, sendo o produto refeito desde o início do processo. Isso acaba se tornando outro problema para empresas que trabalham somente com vendas por encomenda e têm prazos de contrato a cumprir. Nesses casos é fundamental a produção de cabos conformes já na primeira vez para não atrasar a produção e correr o risco de pagar multas por atraso, incidentes sobre os contratos.

Os custos indiretos são os custos relacionados à imagem da empresa e à satisfação do cliente.

Quanto aos custos indiretos, relacionados às necessidades ou atitudes dos clientes, durante a venda e na pós-venda, são de vital importância. Um único cliente insatisfeito ou que se sinta lesado pode contaminar todo um grupo e danificar de forma irreversível a imagem de um produto ou organização. (RODRIGUES, 2006, p.83).

Por esses motivos, a identificação das fontes causadoras de não conformidades é importante para se atuar de forma preventiva e garantir a qualidade do produto acabado, atendendo o cliente da forma mais adequada. Caso um destes fatores saia do controle, também é importante saber em que ponto atuar para eliminar o problema a tempo de não perder o produto.

OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia PDCA para identificar quais fatores que influenciam na geração de não conformidades no processo de extrusão de plásticos para isolamento de cabos elétricos e apontar melhorias.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Apresentar os fatores geradores das não conformidades no isolamento de cabos elétricos ocorridos na Empresa X, a causa raiz dos problemas e as ações para mitigação ou eliminação destes.
- Aplicar a metodologia PDCA de melhoria continua analisando todo o processo de extrusão do isolamento de cabos elétricos e mostrar como essa ferramenta é eficiente quando bem utilizada em empresas de fios e cabos elétricos.
- Apresentar a melhora no volume de produção quando existe a redução de não conformidades, aumentando a quantidade de material produzido para cada não conformidade gerada.

2. REVISÃO BILIOGRÁFICA

PDCA

O Ciclo PDCA foi criado pelo físico, engenheiro e estatístico norte americano Walter Andrew Shewhart na década de 1930 enquanto trabalhava com ferramentas estatísticas para os laboratórios da empresa *Bell Telephones*. Originalmente criado como um controle de processos que podia ser repetido continuamente para gerir qualquer processo ou solucionar problemas, o método foi difundido e ganhou conhecimento quando passou a ser utilizado pelo estatístico, também norte americano, William Edwards Deming na década de 1950 quando recebeu convite da União Japonesa de Cientistas e Engenheiros (JUSE) para ensinar o método de Shewhart e ajudar a reconstruir o país após a segunda guerra mundial. Devido a grande repercussão que o método ganhou através de seus ensinamentos, também passou a ser conhecido como Ciclo de Deming.

CAMPOS (2004) define o PDCA como um método de gestão direcionado a atingir metas e resolver problemas. A palavra método origina-se da palavra grega *methodos* (método) que é formada da soma das palavras *meta*, a qual o significado é "meta", e *hodos*, que quer dizer "caminho". Por tanto, o significado da palavra método, literalmente, é "caminho para atingir metas", conforme definição também de CAMPOS (2004, p. 179). O ciclo PDCA, cuja sigla é formada pela letra inicial das palavras em inglês *Plan* (planejar), *Do* (fazer), *Check* (checar) e *Act* (agir), é um método de gerenciamento e melhoria que pode ser utilizado de forma contínua na gestão de processos e solução de problemas.

Conforme SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON (2009, p. 578), a melhoria contínua implica em um processo sem fim em que as atividades de um processo são questionadas repetidas vezes, o quanto necessário, sempre implementando melhorias, mesmo que pequenas. Em um processo de melhoria contínua, o importante é a constância de melhorias, e não a proporção delas. No Ciclo PDCA uma sequência de atividades são repetidas ciclicamente e ao final do último estágio o ciclo é reiniciado, sempre obtendo uma melhoria em relação ao ciclo anterior, até o

objetivo ser alcançado. Quando a meta é atingida, as atividades devem ser padronizadas para que o resultado se mantenha ao longo do tempo, inicia-se então o SDCA (*standardize, do, check, act*). Este processo não será abordado neste trabalho uma vez que o objetivo proposto é a redução das não conformidades, e não a manutenção do indicador.

O método PDCA consiste de quatro etapas, cuja função diz respeito às quatro letras da sigla e são desenvolvidas na sequência: planejamento, execução, checagem e ação. Aplicado a empresas, este método pode ser utilizado para gerenciar atividades de diferentes níveis, desde o alcance de metas em altos níveis de administração, até solução de problemas crônicos no chão de fábrica. Um dos pontos mais importantes para o sucesso do trabalho é que todas as pessoas envolvidas tenham conhecimento da ferramenta e se comprometam com a proposta do objetivo. Outros pontos fundamentais são a proposta de uma meta realista para que todos os envolvidos acreditem na força do trabalho e se motivem em alcançá-lo, e uma fase de planejamento bem feita para que as ações resultantes sejam efetivas e bem alinhadas com a meta.

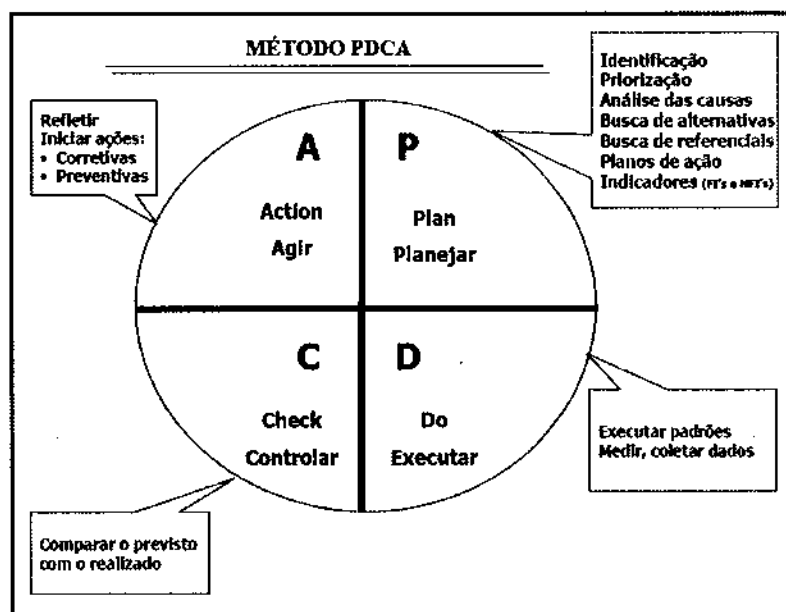


Figura 1 – Ciclo PDCA

Fonte: Gomes (2006)

PLAN (P)

Segundo AHUJA¹ (1994 *apud* ANDRADE, 2003, p.18) "Planejar é estipular objetivos e, então, determinar programas e procedimentos para alcançar esses objetivos. É tomar decisões para o futuro, é olhar mais adiante".

O estágio de planejamento é considerado o mais importante na aplicação do ciclo PDCA. Esta parte deve ser desenvolvida cuidadosamente para garantir a eficácia do trabalho. Por isso, quanto mais informações e informações mais confiáveis se tiver acesso, mais fácil será a identificação das oportunidades de melhorias e os pontos a serem atacados. Segundo CAMPOS (2004, p. 45), "O segredo do bom gerenciamento está em saber estabelecer um bom plano de ação para toda meta de melhoria que se queira atingir".

Para garantir uma eficiente etapa de planejamento, 5 ações são necessárias:

- **Identificar o problema:** identificar o processo que esteja apresentando resultado indesejado quando comparado com as diretrizes da empresa. Um exemplo de problema em qualquer empresa com fins lucrativos é geração de não conformidades, onde a empresa gastou dinheiro com matérias primas e tempo de máquina em um produto que não trará retorno financeiro para ela.
- **Estabelecer a meta:** estabelecer claramente a onde se deseja chegar e quais serão os indicadores para comparação dos resultados. É importante estabelecer uma meta alcançável para que os envolvidos confiem que será possível atingi-la e se esforcem para cumprir suas atividades.

¹ AHUJA, H. N. et al. **Project Management: techniques in planning and controlling construction projects**. New York: John Wiley & Sons, 1994. p.550.

- **Levantar informações:** Nessa parte do trabalho deve-se tomar conhecimento da situação atual e levantar informações para análise e elaboração do plano de ação. Fonte de informações confiáveis é um ponto importantíssimo para o resultado do trabalho. Informações não coerentes ou distorcidas da realidade levarão a um plano com ações que não resultarão no objetivo esperado. Deve-se fazer um levantamento histórico de ocorrências do problema para análise e identificação da causa raiz.
- **Análise de causas:** Com as informações disponíveis, são verificados quais são as causas que impedem que o indicador se mantenha na meta. Para auxiliar a identificação da fonte causadora do problema, ferramentas e técnicas de qualidade podem ser utilizadas para a estratificação dos dados. Das várias ferramentas existentes, neste trabalho serão empregadas o Diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito (Ishikawa) e a técnica do por quê, por quê.
- **Plano de ações:** esta é a última etapa da fase de planejamento e apresenta as ações resultantes da análise de causas. No plano são listadas as ações e medidas para mitigar ou eliminar cada causa encontrada. Para cada ação incluída no plano deve ser indicado um responsável por cumpri-la e o prazo para finalização da atividade. Todas as oportunidades de melhorias identificadas devem ser incluídas no plano de ação, inclusive treinamentos e previsão de investimentos. Na execução deste trabalho o plano de ação será estruturado conforme metodologia "5W 2H" para organização e gerenciamento das atividades.

DIAGRAMA DE PARETO

Como é afirmado por SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON (2009, p. 586), "Em qualquer processo de melhoramento, vale a pena distinguir entre o que é importante e o que é menos importante. O propósito do diagrama de Pareto é distinguir entre as "poucas questões vitais" e as "muitas questões triviais".

Traduzindo a citação acima, o diagrama de Pareto é uma comparação quantitativa utilizada para hierarquização de fatos conforme ocorrência em um determinado período de tempo. Criado pelo economista italiano Vilfredo Pareto, no século XIX, é uma ferramenta básica da qualidade cuja função é separar os problemas mais importantes dos poucos importantes, priorizando os que realmente impactam os resultados. Seu fundamento parte em considerar que 80% dos problemas é consequência de 20% das causas, por isso também é conhecido como diagrama 80 20.

O diagrama é montado com um gráfico de barras verticais onde os problemas são listados em ordem decrescente conforme número de ocorrências. O gráfico expressa no eixo Y a quantidade de ocorrências de determinado fator e em um eixo Y secundário a porcentagem acumulada da conforme deslocamento das ocorrências do eixo X. Acima das barras é traçada uma curva também correspondente à somatória das porcentagens onde é possível identificar em que ponto a somatória dos itens representa 80% do total de ocorrências. No exemplo mostrado através do gráfico 1, a somatória dos itens 1 e 2 representam 80% das ocorrências, o que indica que ações para melhorar estes 2 itens devem ser tomadas prioritariamente em relação aos demais.

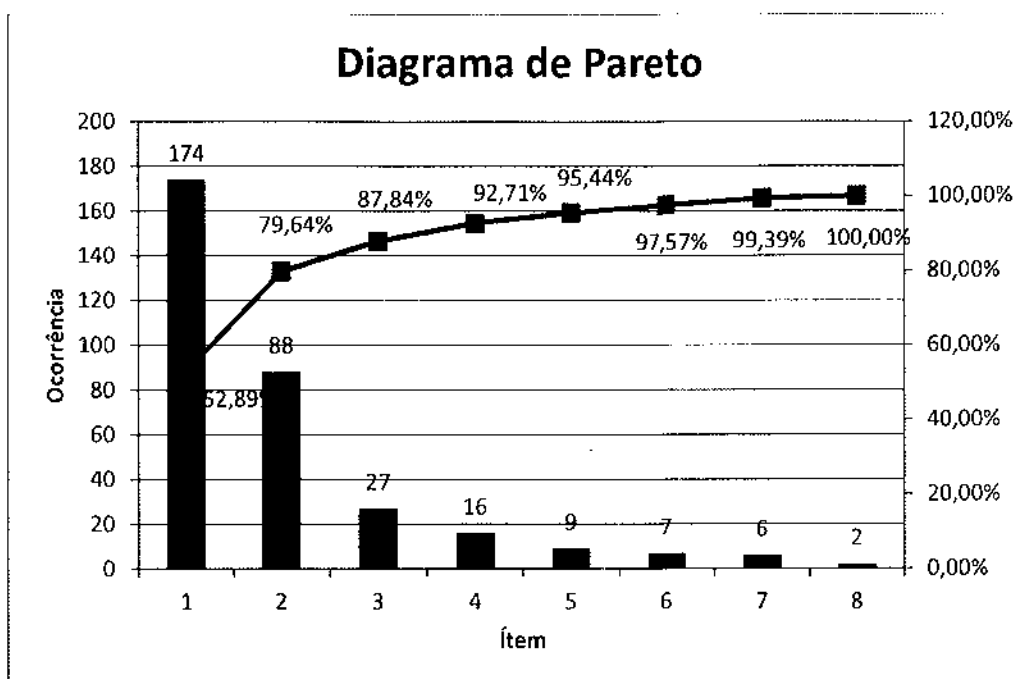


Gráfico 1 – Diagrama de Pareto

Fonte: Autoria Própria

DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa, também conhecido por diagrama de causa e efeito devido às informações contidas nele, ou espinha de peixe devido à sua estrutura, é uma importante ferramenta da qualidade quando se propõe prover melhorias em processos ou solucionar problemas. Desenvolvido pelo engenheiro químico japonês Kaoru Ishikawa, e por isso recebe seu sobrenome, é um método bastante eficaz para encontrar a origem de problemas, pois provê uma forma estruturada de elencar e relacionar todas as causas ao efeito estudado, ou desejado.

Uma atividade importante para a elaboração de um diagrama eficaz é a realização de "*brainstormings*" (tempestade de ideias – reunião onde várias pessoas se reúnem e propõe ideias sobre o tema discutido) envolvendo pessoas que tenham conhecimentos do assunto abordado. Nas reuniões de *brainstorming* são citados fatores relacionados a 6 grupos integrantes do processo, chamados de 6M devido

ao nome de todos iniciarem com a letra M, onde se identifica possíveis causas geradores do problema ou as ações para se atingir um objetivo. Os grupos são:

- **Método:** toda a causa envolvendo o modo como é executado o trabalho (ex: atividade procedimentada de forma errada ou fluxo de material);
- **Matéria prima:** causas que envolvem a matéria-prima utilizada para a fabricação do item (ex: matéria prima degradada ou não apropriada para o fim);
- **Mão-de-obra:** questões que envolvem uma atitude do colaborador (ex: treinamento, execução errada de uma atividade, utilização inadequada de um equipamento, pressa etc.);
- **Máquina:** causas envolvendo a máquina que estava sendo operada (ex: quebra de máquina ou adequação da máquina);
- **Medição:** toda causa que envolve a medição de controle do processo (ex: calibração de equipamentos ou tolerâncias);
- **Meio ambiente:** toda causa que envolve o meio ambiente em si (poluição, calor, poeira etc.) e o ambiente de trabalho (layout, falta de espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos etc.)

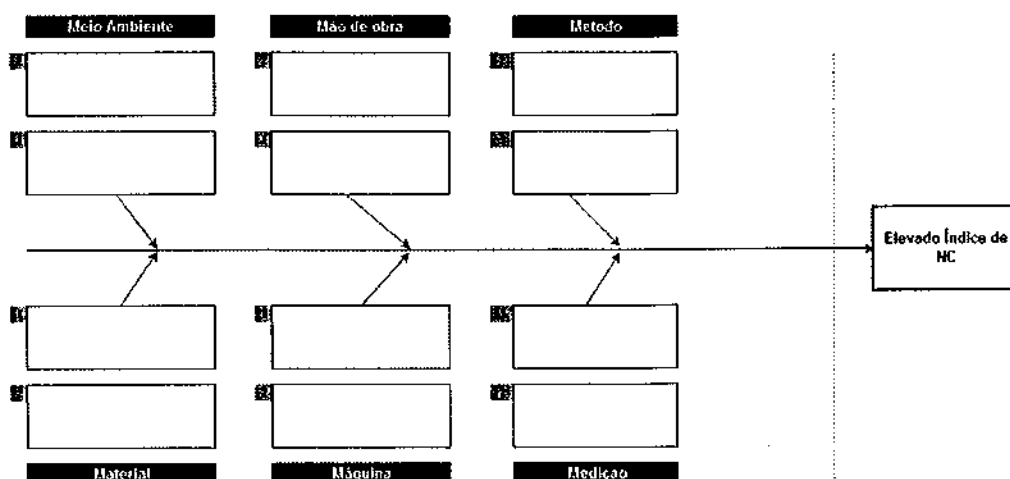


Figura 2 – Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: Autoria Própria

Essa categorização, um tanto ultrapassada segundo SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON (2009, p. 585), pode ser substituída por qualquer outra categorização que inclua as possíveis causas relevantes para o efeito estudado. A diversidade de utilização do diagrama de Ishikawa é muito grande e depende da necessidade ou criatividade para a aplicação. O importante é que a elaboração seja rica em detalhes para melhor qualidade dos resultados obtidos em sua aplicação, ou seja, maior chance de alcançar o objetivo.

POR QUÊ? POR QUÊ?

A técnica “Por quê? Por quê?” é uma excelente ferramenta quando se deseja encontrar a causa fundamental de determinada ocorrência. Essa técnica consiste em questionar o porquê o fato ocorreu até que a raiz do problema seja identificada. A aplicação deste método se inicia estabelecendo o problema e em seguida o questionamento sobre o porquê ele ocorreu. O questionamento termina quando uma causa autossuficiente seja encontrada, ou seja, o próximo questionamento resultará no mesmo motivo, ou que não seja mais possível fazer um novo questionamento.

Cada causa raiz encontrada no “Por quê? Por quê?” se torna uma pendência no plano de ação.

A título de exemplo, supõe-se que se deseja saber por que o produto X foi produzido não conforme:

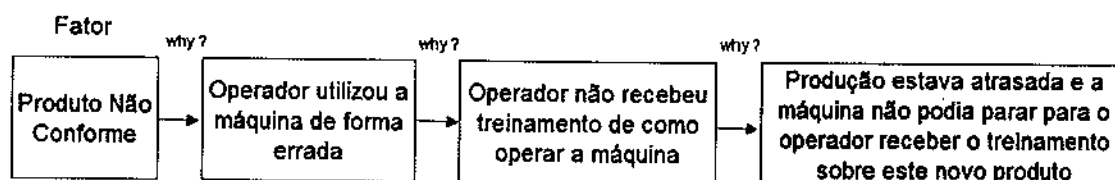


Figura 3 – Por quê? Por quê?

Fonte: Autoria Própria

Como demonstra o exemplo, foi identificado que a causa raiz para o problema do produto não conforme é a ausência de treinamento para o operador sobre a fabricação do novo produto.

5W 2H

A criação de um plano de ações resulta em diversas tarefas que precisam ser mapeadas e gerenciadas para garantir seus cumprimentos, e com isso atingir o resultado esperado. 5W 2H é uma das técnicas mais eficazes para esta aplicação, pois através de uma planilha é possível identificar o problema e definir todas as medidas e recursos necessários para a execução. O preenchimento deste plano também é baseado em questionamentos, assim como o “Por quê? Por quê?”, porém, sua função não é identificar a causa raiz e sim estruturar uma atividade para solucioná-la.

A sigla 5W 2H deriva dos questionamentos necessários que compõem a estrutura do plano (em inglês):

- **What** (o que?): Qual é a ação para tratar a causa fundamental do problema ou para implementar o que deseja-se fazer. Causa, no caso deste trabalho, obtida através da técnica "POR QUÊ? POR QUÊ?".
- **Why** (por quê?): Porque essa atividade será realizada? A justificativa, geralmente, é a eliminação da causa fundamental que originou a tarefa.
- **Where** (onde?): Onde esta tarefa será executada? Local onde será realizada a tarefa, que pode ser melhoria, manutenção, treinamento, investimento etc.
- **Who** (por quem?): Quem será o responsável por cumprir, ou fazer cumprir, a atividade? Ponto importantíssimo para a evolução do trabalho é delegar responsáveis e saber quem cobrar pela atividade.
- **When** (quando?): Quando será realizada a tarefa? Data de início e término para a execução e a atividade. É uma forma de assegurar que a tarefa seja priorizada pelos responsáveis.
- **How** (como?): Como este problema será solucionado? Como a ação será realizada. Detalhamento é importante para que fique claro aos envolvidos no trabalho qual processo será utilizado para alcançar o objetivo.
- **How much** (quanto custará?): Quanto custará a realização desta atividade? Este fator é deixado de lado em alguns planos em que as ações listadas não demandam investimento, sendo chamados, assim, de 5W 1H.

DO (D)

Uma vez que o plano de ação tenha sido criado, é chegada a hora de colocar as atividades em prática para buscar os resultados. Nesta fase serão aplicadas, na prática, todas as atividades elencadas no plano de ação, e é papel do coordenador

do PDCA cobrar os respectivos responsáveis pelo cumprimento das atividades em seus devidos prazos.

Conforme CAMPOS (2004), a fase de execução se divide em duas, a primeira parte é referente ao treinamento, onde o plano de ação as razões são apresentados para os envolvidos, de forma detalhada, certificando-se que estes entendam e estejam de acordo com as medidas propostas e a metodologia adotada. A segunda parte é a execução do plano em si. Para que esta etapa seja bem sucedida, é imprescindível um plano de ação bem elaborado, pessoas comprometidas em fazê-lo cumprir, e ações eficazes.

Todos os resultados obtidos, bons ou ruins, devem ser registrados para a etapa de checagem (*check*), como forma de aprendizado e fonte de informação para a próxima rotação do ciclo.

CHECK (C)

Na próxima fase é a hora de avaliar se as ações adotadas foram efetivas em relação ao objetivo do PDCA, onde, através dos indicadores definidos na fase de planejamento, faz-se a comparação dos resultados obtidos com a meta esperada. Para verificar a efetividade das ações, deve-se comparar os dados coletados anteriormente à aplicação da metodologia PDCA com os obtidos após a execução das tarefas. Para efeito de comparação entre as ações, pode-se também levantar o resultado que cada ação trouxe para o resultado geral, e assim verificar quais foram as ações mais eficazes. Essa verificação deve ser baseada na mesma fonte de informações utilizadas anteriormente e através de relatórios gerados durante a realização das atividades. Reuniões com periodicidade definida, geralmente reuniões semanais, devem ser estipuladas para acompanhamento da evolução das ações e os resultados encontrados.

Nem todas as ações geram resultados esperados ou, pelo menos, resultados positivos. Por isso, esta fase também é útil para verificar as falhas no processo e seus motivos. É importante verificar se as ações implementadas atingiram o

resultado esperado, se geraram resultados secundários indesejados e se o problema ainda persiste. Caso algumas destas afirmações sejam verdadeiras, o plano inicial não foi eficaz como um todo ou algumas ações não foram eficazes. Então, é chegada a hora de agir e corrigir o que se desviou do proposto inicialmente.

ACT (A)

Após a avaliação dos resultados obtidos até o momento, passa-se à fase de ação da metodologia PDCA. Esta etapa é baseada nos resultados encontrados na fase anterior e se divide em duas atividades distintas, padronização e revisão das ações. Como afirma SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON (2009, p. 578):

Durante esse estágio, a mudança é consolidada ou padronizada, se foi bem sucedida. Como alternativa, se a mudança não foi bem sucedida, as lições aprendidas na "tentativa" são formalizadas antes que o ciclo comece novamente.

Quando as atividades foram efetivas e com isso obtiveram resultados positivos, deve-se incorporar o que deu certo ao processo através da padronização do novo método ou alteração do método existente, evitando que o problema ocorra novamente. Assim, como afirma ANDRADE (2003, p.64), depois de padronizados, os métodos devem ser amplamente divulgados na empresa por meio de reuniões, comunicados e registros. Além da comunicação e documentação, o treinamento das pessoas envolvidas com o novo padrão é fundamental para que este seja compreendido e executado corretamente. Na fase de padronização, a metodologia PDCA se transforma em SDCA, onde a diferença dos métodos é apenas na primeira etapa, que agora passou a ser *standardization* (padronização) e as ações são voltadas para o intuito de manter a meta.

No caso de insucesso das ações e conseqüentemente o não atendimento do objetivo, após a verificação do que falhou na fase anterior, medidas para correção

dos desvios na execução das ações devem ser tomadas, e propostas novas ações para dar continuidade ao trabalho. A partir deste ponto, um novo ciclo se inicia, levando as lições aprendidas no ciclo anterior. Volta-se novamente à etapa de planejamento e passa-se às demais fases dando sequência à metodologia, como na tentativa anterior, evidenciando assim o processo de melhoria contínua. O ciclo se repete até que a meta tenha sido alcançada.

EXTRUSÃO

Extrusão é um processo de conformação mecânica através do qual a matéria prima é forçada a passar por uma matriz moldante, adquirindo sua forma pré-determinada. Devido ao tipo de processo, os produtos resultantes de extrusão têm forma fixa com seção transversal constante, são semi-acabados, geralmente não precisando de acabamentos posteriores, e na sua maioria são longos, podendo ser fracionados em seguida, de acordo com a necessidade. Diferentes tipos de matéria prima podem ser extrudados, como: cerâmicas, metais, plásticos e argilas. Esse processo é muito comum e utilizado por vários segmentos industriais, desde o ramo alimentício para produção de macarrão, cereais e salsichas, até as indústrias metalúrgicas para a produção de perfilados de alumínio, chapas e tubos, conforme RAUWENDAAL (2001, p.1).

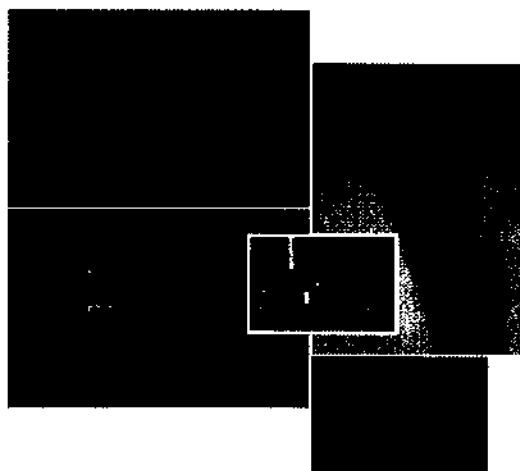


Figura 4 – Exemplos de produtos extrudados

Fonte: DuPont

Existem quatro métodos de extrusão que são classificados de acordo com o processo de como a matéria prima é forçada contra a matriz modeladora, são elas: direta, indireta hidrostática e por impacto. Na extrusão direta, que pode ser vertical ou horizontal, a matéria prima é colocada dentro de um cilindro, denominado camisa de extrusão, e é forçada a passar pela matriz que fica fixa e exercendo uma força contrária, conferindo sua forma ao material. O que força a saída desse material pode ser um pistão hidráulico que se desloca do início da camisa de extrusão até a matriz, forçando todo o material em seu interior a sair moldado, ou uma rosca, onde o material é alimentado em forma de granulado no início da camisa (início da rosca), cisalhado e fundido em seu interior, sendo transportado até a matriz por onde o material, através da rotação da rosca, é forçado a passar. O método com rosca sem fim é mais utilizado para extrusão de plásticos e alimentos. As vantagens do método direto são o alto controle das dimensões da peça e a possibilidade de confeccionar peças mais complexas e com maior seção transversal. A desvantagem é que, como o aproveitamento da matéria prima não é eficiente, gera desperdícios de 10 a 15%. Existe uma variante deste método, chamado de extrusão lateral, em que o material é colocado dentro de uma camisa vertical e ao ser forçado escoar perpendicularmente ao sentido de avanço do embolo, por uma abertura na lateral da camisa.

Na extrusão indireta, também conhecida como reversa ou invertida, o material fica parado dentro do cilindro com o fundo vedado e é a matriz que se desloca com o movimento do pistão, fazendo com que o material adquira sua forma. Entre suas vantagens podemos destacar a ausência de atrito entre a matéria prima e a camisa de extrusão, precisando de menor pressão para movimento do pistão, e o aproveitamento mais eficiente da matéria prima, gerando sobras de apenas 5%. Como desvantagem pode-se citar o custo elevado das ferramentas, maior complexidade do processo e limitação na aplicação de força do pistão por este ser oco e se deformar.

O terceiro método é o processo de extrusão hidrostática, onde a matéria prima é colocada no interior de um cilindro com diâmetro superior ao seu e fica imersa em fluido lubrificante, para que não haja contato com as paredes da camisa, reduzindo assim o atrito quando é forçada a passar pela matriz com o deslocamento do pistão. Algumas de suas vantagens são: a possibilidade de extrudar materiais

mais duros devido aos ângulos de ferramenta menor, e a resistência do produto final superior ao dos demais meios devido a redução de poros na superfície do material, segundo PALMERIA (2005, p.20). Como desvantagem cita-se a dificuldade de controle na velocidade de extrusão, podendo gerar instabilidade no fluxo de material, e a pressão elevada dentro do fluido lubrificante.

O processo de extrusão por impacto, que é o quarto método, é parecido com a extrusão indireta. Neste método a matéria prima é colocada sobre a ferramenta modeladora e uma punção é batida contra ela para conformar o material. A peça final é formada pelo vão entre as extremidades internas da ferramenta modeladora e a extremidade externa da punção. Entre uma de suas vantagens destaca-se a velocidade de produção, podendo extrudar até duas peças por segundo, e a possibilidade de extrudar peças muito finas, com relação de até 0,005 entre diâmetro/espessura. Uma das desvantagens é que só é possível extrudar peças de forma simples, como por exemplo, arruelas para parafusos.

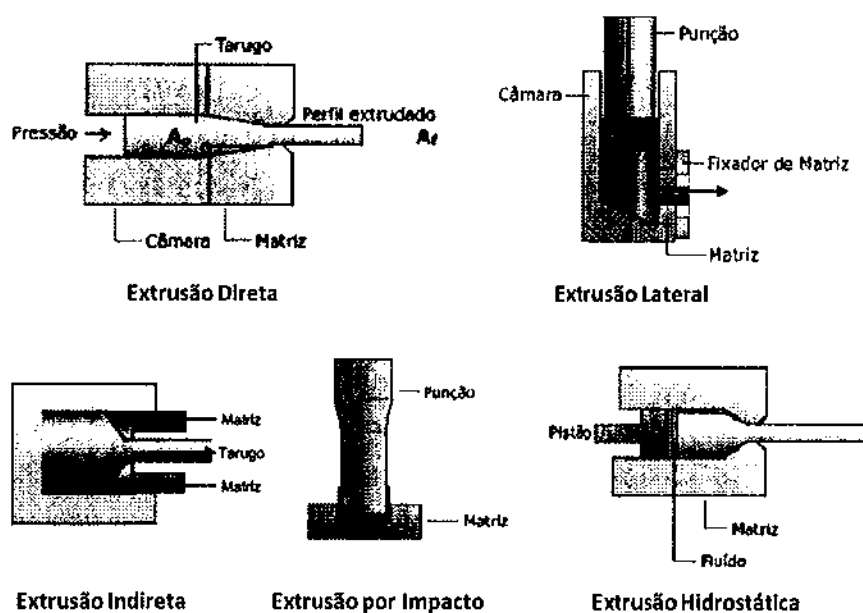


Figura 5 – Tipos de Extrusão

Fonte: Treinamento Fbts

A extrusão também pode ser classificada em função da temperatura em que a matéria prima é processada, extrusão a quente e extrusão a frio. A escolha entre os métodos depende do custo, exigências técnicas (temperatura elevada pode trazer efeitos indesejados ao produto) e da ductilidade da matéria prima, que é a propriedade que a matéria prima tem de se deformar sem se fraturar. Esse é o principal parâmetro a ser analisado na escolha entre os dois tipos de extrusão. A extrusão a frio é mais cara quando comparada à quente e somente é utilizada quando o material tem boa ductilidade. Somente a pressão exercida pela extrusora é suficientemente alta para moldar o material sem a necessidade de aquecimento e sem risco de fraturá-lo, por isso é comumente utilizada para extrudar formas mais simples. Com esse tipo do processo geralmente extrudam-se ligas de alumínio, aço com teor de carbono abaixo de 20%, cobre, magnésio, chumbo e cerâmicas. Segundo PALMEIRA (2005, p. 19), como exemplo de produtos que resultam dessa aplicação é possível citar latas, carcaças de extintores de incêndio, amortecedores e pistões de alumínio para motores a combustão interna. Suas principais vantagens são bom acabamento superficial, melhores propriedades mecânicas em relação à extrusão a quente, melhor controle de tolerâncias, eliminação de pré-aquecimento da matéria prima e melhores taxas de produção. Algumas desvantagens são a necessidade de forças muito elevadas para conseguir empurrar a matéria prima contra a matriz de modelagem; alta pressão dentro das extrusoras, podendo chegar a 3000MPa para algumas ligas de aço-carbono; a necessidade de ferramentas de extrusão mais complexas e caras, pois exigem maior dureza do material de que são construídas e a necessidade de um material pré-conformado em relação à sua forma final.

A extrusão a quente é mais barata em relação à fria e pode ser utilizada quando o material apresenta baixa ductilidade à temperatura ambiente, precisando ser aquecido para ser deformado sem fraturas. O aquecimento da matéria prima reduz as forças necessárias para a extrusão e facilita a conformação do material, permitindo a produção de formas mais complexas. Através da extrusão a quente pode-se processar e conferir forma a produtos feitos de polímeros, aumentar a ductilidade de materiais como alumínio para conseguir reduções de área da ordem de 100:1, extrudar tubos, engrenagens e perfis estruturais, entre outros. A extrusão a quente possibilita extrudar polímeros, ligas refratárias e metais, desde que a

temperatura de extrusão não supere a temperatura de fusão do metal. As temperaturas na extrusão a quente podem variar de 110°C para extrusão de polietileno baixa densidade (LDPE), até 2200°C para ligas refratárias. Como vantagens citam-se a possibilidade de conformar peças mais complexas, processar materiais de maior dureza devido ao aumento da ductilidade e a necessidade de menor força aplicada na modelagem do material. Entre as desvantagens citam-se o maior desgaste das matrizes devido às temperaturas elevadas, pior acabamento superficial para ligas metálicas, além de que a alta temperatura pode trazer efeitos indesejados no produto final.

A confecção de certos tipos de produtos exige um determinado processo de extrusão e um determinado perfil de temperatura para que possa ser confeccionado, como é o caso dos polímeros utilizados no isolamento de cabos elétricos. A fabricação deste produto exige que o processo seja extrusão contínua e direta, devido à extensa metragem em que os cabos elétricos são produzidos. Outra particularidade deste processo é a necessidade de extrusão a quente, uma vez que os polímeros para essa aplicação, geralmente, vêm em forma granulada e precisam de temperatura elevada para fundir e ser conformado ao redor de um condutor nu. Dentre os tipos de extrusoras existentes, para esse tipo de produto, a mais utilizada é a extrusora de rosca simples e será a abordada neste trabalho.

EXTRUSORA

As extrusoras são o mais importante equipamento na indústria de processamento de polímeros e podem se dividir em dois grupos: extrusoras descontínuas e contínuas. As extrusoras descontínuas trabalham de forma cíclica e são ideais para confecção de produtos de pequena extensão, uma vez que a matéria prima não é alimentada continuamente e ao terminar o material que está dentro da camisa de extrusão, o equipamento tem que ser aberto e recarregado. Este tipo de extrusão geralmente é utilizado em moldagem por injeção e moldagem por sopro e utiliza a extrusora com pistão hidráulico para forçar a passagem do material através da ferramenta de extrusão.

A extrusão contínua é feita por extrusoras que possuem em seu interior uma rosca sem fim, que é responsável por cisalhar o polímero e transportá-lo até a ferramenta modeladora. A matéria prima é alimentada constantemente no início da rosca e por essa razão possibilita a extrusão de produtos extensos. As extrusoras contínuas são divididas em rosca única ou múltiplas roscas. Segundo Rauwendaal (2001, p.11), a extrusora de rosca única é o tipo de equipamento mais utilizado pelas indústrias de processamento de polímeros devido ao custo relativamente menor em relação às extrusoras de rosca múltipla, design simples com robustez e confiabilidade, e uma favorável relação desempenho/custo. A extrusão contínua é o processo utilizado para a produção de filmes plásticos, isolamento de cabos elétricos e tubos, entre outros produtos. Como a Empresa X, objeto de estudo deste trabalho, utiliza apenas extrusoras de rosca única, este será o único tipo de equipamento apresentado com detalhes.

EXTRUSORA DE ROSCA ÚNICA

As extrusoras de rosca única para isolamento de cabos elétricos são equipamentos compostos por: alimentadores, equipamentos cuja função é dosar a matéria prima e alimentar a rosca no início da camisa de extrusão; camisa de extrusão, cilindro de aço que contém a rosca de extrusão, envolto por resistências elétricas para fundir o polímero; rosca de extrusão que é movida por um motor elétrico responsável pela plastificação e transporte do material até as ferramentas de extrusão; cabeça de extrusão, peça que contém as ferramentas e recebe o composto vindo da camisa de extrusão; ferramentas de extrusão, também conhecidas como matrizes de extrusão ou "fêmeas", peças responsáveis por moldar polímero ao redor do condutor elétrico.

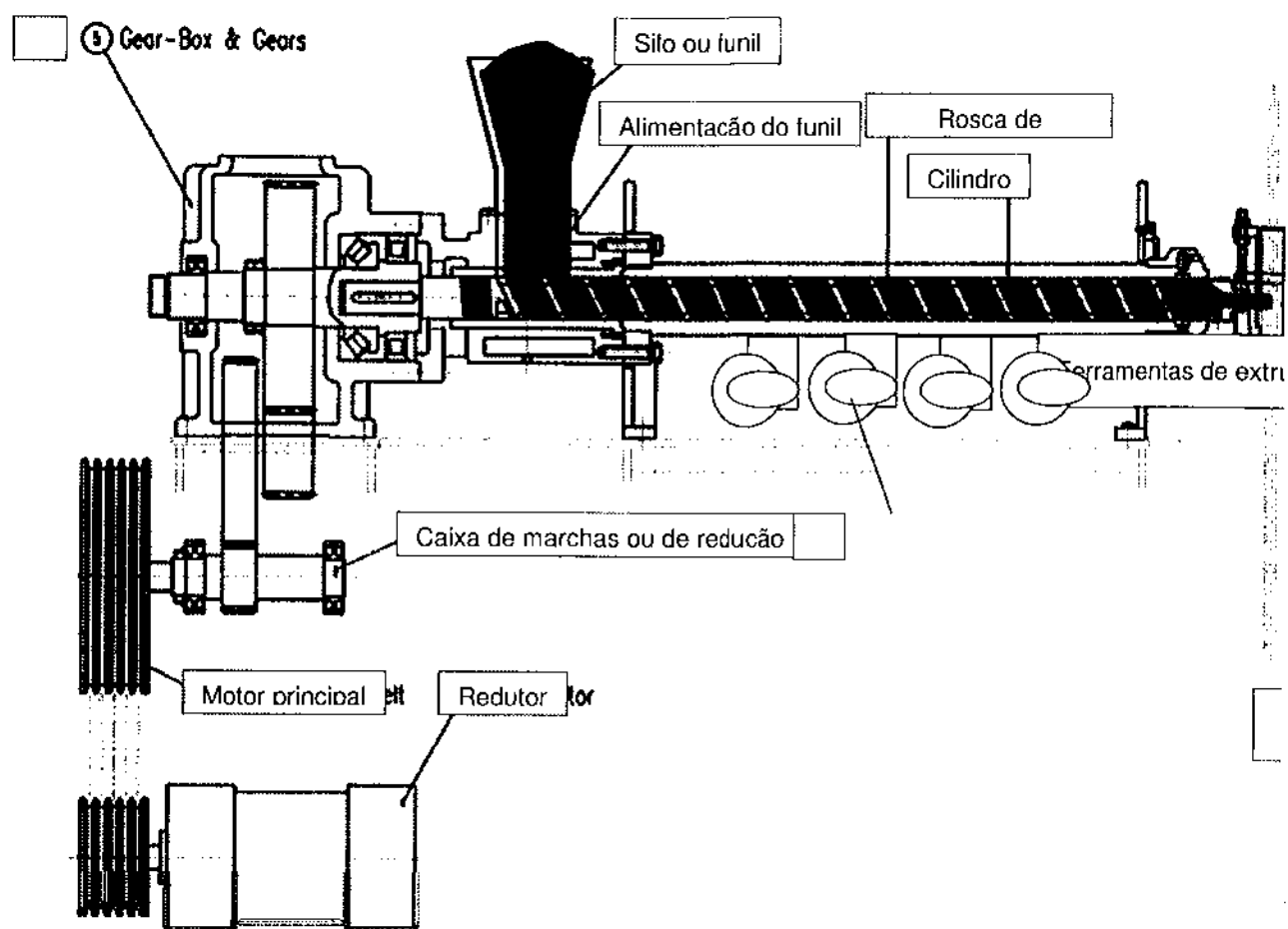


Figura 6 – Extrusora de Rosca Única

Fonte: Arquivos Internos Empresa X

O processo de extrusão se inicia com o enchimento do funil de alimentação com a matéria prima que será extrudada. Os polímeros são fornecidos na forma de granulados e precisam ser transportados até os dosadores. Devido à dificuldade de manusear materiais a granel, geralmente são utilizadas bombas de sucção que criam vácuo em uma mangueira e puxam o composto até os dosadores. O transporte manual também pode ser realizado, porém, corre-se o risco de contaminar a matéria prima com alguma impureza que aparecerá no material isolado, causando um defeito na superfície. Por esse motivo, é importantíssimo que a embalagem da matéria prima seja aberta apenas o suficiente para colocar a mangueira da bomba de vácuo, que também é chamada de sonda. Ao colocar a sonda na matéria prima, o restante da embalagem deve ser vedado.

Os polímeros e seus aditivos são fornecidos basicamente em 3 tipos diferentes de embalagem: os compostos base podem vir em caixas de papelão, geralmente com 600kg de material, ou em sacos de nylon chamados de "*big bags*", com aproximadamente 1000kg; os corantes ou master catalíticos vêm em sacos plásticos pequenos, de 15kg e 25kg. No caso das duas primeiras embalagens, a sonda é colocada diretamente em seu interior. Os sacos pequenos são colocados diretamente nos funis de alimentação dos dosadores.

Os dosadores são equipamentos responsáveis por dosar a matéria prima de acordo com a receita para a composição do material a ser extrudado. Dos tipos de dosadores existentes, dois são os mais utilizados: gravimétrico, onde cada material é pesado e compõe sua porcentagem na mistura; ou volumétrico, onde cada um dos funis possui uma rosca com vazão conhecida e o tempo de acionamento e rotação de cada uma faz com que a porcentagem da receita seja dosada. Há casos em que a mistura é feita manualmente, mas esse procedimento não é recomendado, pois a quantidade de cada material pode não ser confiável e a repetibilidade da dosagem pode não ser constante.

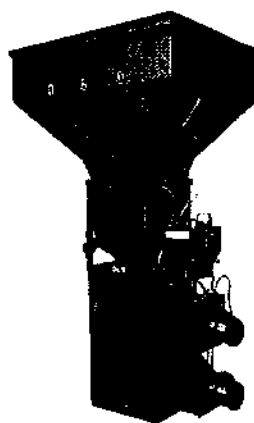


Figura 7 – Dosador Gravimétrico

Fonte: Maguire Products

O composto dosado conforme a receita cai no funil de alimentação da extrusora e através de força da gravidade alimenta a rosca de extrusão. Existem 2

formatos de funis, os circulares e os quadrados, e eles podem ter compressão rápida, onde o fechamento do funil é muito rápido (pouca altura na inclinação), ou gradual (quando a parte inclinada do funil tem altura maior). Os funis quadrados e de compressão rápida são bons para misturas com matérias primas de densidade bem próximas e tamanho uniforme dos pallets. Como há grande diversidade de fabricantes, e suas máquinas e processos são diferentes, os funis circulares e graduais acabam por se tornar melhores que as outras três combinações, pois têm escoamento melhor de matérias primas de densidade, formato e tamanho diferentes devido a ausência de arestas. Ao fundo do funil de alimentação, o material cai no início da camisa da extrusora e através da rotação da rosca é transportada para seu interior.

O calor é fundamental para fundir o material e possibilitar que ele seja conformado. Por isso, sistemas de aquecimento são instalados ao redor da camisa e mantêm essa peça aquecida durante o processo de extrusão. Existem 3 tipos de sistemas aquecimento: a fluído, a vapor e a eletricidade, sendo o último o mais comum devido a boa eficiência, baixo custo e fácil manutenção.

Os sistemas elétricos utilizam resistências ou indutores ao longo da camisa, agrupadas em pequenos grupos chamados de "zonas". Cada zona possui controle independente de temperatura que é ajustado conforme polímero utilizado e características da máquina.

A rotação da rosca causa atrito com o polímero e com a camisa, transformando a energia mecânica fornecida pelo motor em energia térmica, acrescentando calor ao polímero. Devido a isso, assim como o sistema de aquecimento, o resfriamento da camisa também é de grande importância para o processo de extrusão. Embora o resfriamento seja um mal necessário devido ao fato de consumir energia para perder a energia gasta aquecendo a camisa, esse sistema é indispensável para manter a temperatura do *melt* (polímero fundido) sob controle, evitando que ele se queime dentro do cilindro ou que a reticulação seja acelerada, no caso dos polímeros termofixos, o que resulta em defeitos no extrudado. Quando o resfriamento não é tão grande, se utiliza o sistema de ar forçado, onde sopradores são instalados soprando ar para a camisa. Aliado a este sistema, dissipadores de calor também podem ser instalados entre as zonas de aquecimento para aumentar a

transferência de calor e eficiência do resfriamento. A vantagem do sistema a ar é a simplicidade do sistema e redução gradual de temperatura. Quando a necessidade de resfriamento é maior, utiliza-se sistema a óleo ou a água, que fornece resfriamento mais intenso, porém, dificulta o controle de temperatura devido a brusca redução de temperatura.

A rosca é o principal componente da extrusora. Ela é responsável por fundir o polímero e transportá-lo até a ferramenta de extrusão. O atrito, aliado a temperatura fornecida pelo sistema de aquecimento, faz o material derreter e se transformar em uma massa única que recebe o nome de "*melt*", ou fundido. As extrusoras de rosca única também são conhecidas como extrusoras de estágio simples devido ao fato de sua rosca possuir apenas um setor de compressão de matéria prima, embora o corpo da rosca possua três estágios geometricamente distintos: alimentação, compressão e transporte.

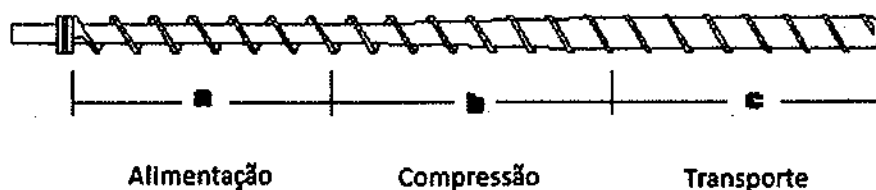


Figura 8 – Rosca da Extrusora

Fonte: Web Service Empresarial

O primeiro estágio é conhecido como setor de alimentação, pois é onde o material dosado cai no início do cilindro de extrusão e a rosca inicia seu transporte até a ferramenta de modelagem. Neste setor geralmente trabalha-se com temperaturas mais baixas na camisa da extrusora, próximas a 110°C, para que o material, ainda em estado sólido, possa empurrar o composto já plastificado dos próximos setores. Conforme o composto vai sendo transportado dentro da camisa, a quantidade de material sólido é reduzida até tornar-se completamente o *melt*, entrando na fase de compressão da rosca. Com a temperatura mais elevada, próximo aos 150°C, inicia o estágio de plastificação do material e a homogeneização se completa. Neste estágio de compressão, a altura do filete diminui e a rosca

exerce maior pressão sobre o polímero e com isso, somada à temperatura da camisa, o material é comprimido e se homogeneíza, transformando-se no *melt*. Ao passar por esse estágio, o polímero já está com viscosidade suficiente para ser conformado ao redor do condutor, passa-se então para o setor de transporte. A função deste último estágio da rosca é transportar o *melt* para a cabeça de extrusão, porém, em alguns desenhos de rosca, para ser utilizada com materiais que precisam ser melhor trabalhados. Este setor, além do transporte, tem a função de ajudar a plastificação do material, como é o caso das roscas "Maddok".

É importante não confundir os setores geométricos da rosca (alimentação, compressão e transporte) com as zonas de estado do composto: alimentação (material sólido), plastificação (fusão e homogeneização) e transporte (composto já fundido sendo transportado para a cabeça de extrusão). Os setores geométricos da rosca são determinados pelo seu desenho e não serão alterados com as condições ou evoluções do processo. Já as zonas de estado do composto mudam conforme o estado do material e dependem das propriedades do polímero, geometria da extrusora e condições de operação.

Ao final do cilindro, antes de entrar na cabeça de extrusão, o polímero fundido encontra a placa porta filtro, cuja função é suportar as telas de filtragem. As telas são utilizadas por algumas razões principais: segurar o material que se queima dentro da camisa e também impurezas externas que possam causar defeitos no material extrudado; e eliminar o movimento espiral do polímero, que é causado pela rotação da rosca, forçando-o a fluir em uma forma linear dentro da cabeça e não gerando distorção no extrudado. Outras aplicações para o porta filtro com telas são reter o material por mais tempo na camisa para melhorar a homogeneização e aumentar a transferência de calor entre a camisa e o composto fundido. As telas podem ser feitas de fios de arame trançados, fibras aleatórias de metal ou pó sintetizado, sendo a primeira a mais utilizada. Estas são classificadas de acordo com a quantidade de furos por polegada quadrada, medida chamada de "*MESH*" (Ex: a tela de 20 *mesh* possui 20 furos em uma polegada quadrada). Comumente é utilizado um jogo composto por telas mais grossas (menor *mesh*) para dar suporte mecânico e telas mais finas (maior *mesh*) cuja função é fazer a filtragem. O jogo de telas deve ser trocado periodicamente para garantir a qualidade da filtragem. Depois

de filtrado, o polímero passa pela cabeça cuja função é levar o composto do cilindro até as ferramentas de extrusão. Nesse ponto o material forçado pela rosca encontra a resistência das ferramentas e adquire sua forma.

A ferramenta de extrusão é o componente mais crítico do processo, as demais partes apenas têm a função de trabalhar o material e levá-lo até ela. Por esse motivo, seu dimensional deve ser criteriosamente escolhido e seu formato deve ser cuidadosamente desenhado, sempre preferindo formas suaves e evitando ângulos fechados.

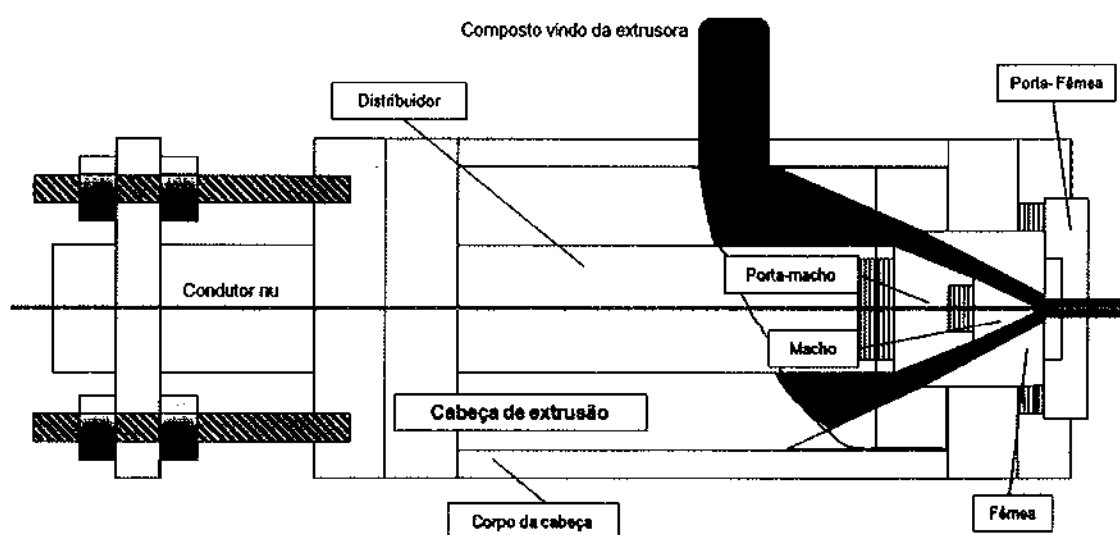


Figura 9 – Cabeça de Extrusão

Fonte: Arquivos Internos Empresa X

LINHA DE EXTRUSÃO



Figura 10 – Linha de Extrusão

Fonte: Arquivos Internos Empresa X

A linha de extrusão, além da extrusora em si, é composta por outros equipamentos essenciais para o isolamento de um condutor elétrico. No início do processo, a bobina contendo o condutor nu é colocada no desbobinador (*pay off*), equipamento cuja função é erguer a bobina do solo e mantê-la alinhada para que o cabo possa desenrolar e percorrer a linha, passando pelos demais equipamentos e recebendo o isolamento.

O condutor é desenrolado da bobina quando puxado pelo "*metering*", equipamento movido por um motor elétrico para puxar o condutor. Dos tipos de *metering* existentes, dois são os mais comuns: os "*capstans*", equipamentos em que o motor elétrico movimenta uma roda de metal e puxa o condutor, gerando movimento na linha; e os "*caterpillars*", que possuem correias de borracha superiores e inferiores, prensando o cabo entre elas. O movimento das correias gerado pelo motor elétrico põe a linha em movimento.

O movimento do *metering* leva o condutor até à cabeça de extrusão para receber o isolamento vindo da extrusora. Após receber o polímero fundido, o cabo precisa ser resfriado o quanto antes para que o isolamento não amasse nos roletes ou possa ser danificado devido ao plástico amolecido. Por isso, na saída da cabeça de extrusão, são instaladas calhas de resfriamento repletas de água onde o condutor passa por dentro e o polímero se torna sólido novamente. O comprimento destas calhas varia de acordo com a velocidade máxima da linha e a temperatura da água. O polímero tem uma temperatura limite para chegar na bobina enroladora e não se amassar devido ao peso das voltas de cabo por cima. Quanto maior a velocidade da linha, maior deverá ser o comprimento da calha, ou mais fria deverá ser a temperatura da água para que o cabo isolado continue íntegro nas voltas inferiores da bobina.

Ao sair das calhas de resfriamento o cabo passa por equipamentos que o identificam e fazem o teste de centelhamento para ver se cabo está furado, conforme norma ABNT NBR NM244, o que pode gerar fuga de corrente e eletrocutar objetos ou pessoas que encostarem-se àquele ponto. Como a água é condutora de eletricidade, podendo energizar a superfície do isolamento molhado no teste de

centelhamento ou no tratador corona, vindo a queimar equipamentos ou eletrocutar pessoas, sopradores de ar são instalados na saída das calhas para retirar a água da superfície do isolamento. Para identificação do cabo, no isolamento são gravadas informações referentes ao fabricante, identificação do cabo, bitola, classe de tensão e norma de atendimento. A gravação pode ser feita de 3 modos diferentes: em alto relevo, quando o cabo ainda quente passa por roldanas que possuem texto fixo cravado em baixo relevo, fazendo marcas no isolamento; pode ser feita com roldanas de gravação por tinta, onde o texto é gravado em alto relevo na roldana que passa por um reservatório de tinta e depois encosta no isolamento deixando o texto pintado no cabo; ou por inkjets, máquinas modernas semelhantes a impressoras de papel onde o usuário digita o texto a ser impresso em uma IHM (interface homem / máquina) e a impressão é feita através de um jato de tinta. A vantagem deste último equipamento é a possibilidade de edição fácil do texto a ser gravado, uma vez que ela é feita via software na máquina. A desvantagem, além do alto preço, é o fato de ser um equipamento eletrônico susceptível a falhas e queima de placas do circuito, além do entupimento dos canhões de gravação pela tinta que resseca.

Nem todos os compostos poliméricos fixam bem a tinta, alguns precisam de um tratamento para oxidar a superfície e abrir poros para deixar a tinta penetrar, melhorando a fixação, como é o caso do polietileno e seus derivados. Esse tratamento é feito pelo equipamento chamado corona que aplica tensão elevada, na ordem de até 35KV, na superfície o cabo isolado causando o efeito corona, que ocorre devido à concentração de campo elétrico em uma determinada região e causa descarga elétrica devido a ionização do ar e da umidade ao redor do condutor.

Para garantir a correta metragem dos cabos, um metrador é instalado no final da linha para gerar a informação ao operador. Os metradores mais comuns são rodas com 1 metro exato de diâmetro que são movimentadas pela passagem do condutor e têm um sensor de disparo, que atua sempre que uma volta é completada, enviando um sinal elétrico para o contador e incrementando 1 metro na contagem. Na mesma roda de metragem, também é instalado um encoder que envia sinais pulsados para a gravadora inkjet fazer o espalhamento das letras do texto, caso este

método de gravação esteja sendo utilizado. Em alguns casos, devido à distância do encoder da inkjet, e também às tolerâncias e tempo de resposta do equipamento, mesmo a roda do metrador tendo exato 1 metro, a metragem indicada no contador acaba sendo diferente da real e em alguns casos ultrapassa a tolerância de 0,5% de erro informado por normas internas da Empresa X. Nesses casos são utilizados os metradores a laser, que são mais precisos, e mais caros, que os mecânicos.

A norma ABNT NBR NM244 exige que seja feito o teste de centelhamento na linha de extrusão. Este teste utiliza o equipamento "spark teste" que aplica tensão elevada na superfície do cabo e caso o isolamento esteja furado, com alguma impureza ou com a espessura abaixo do mínimo exigido, este ponto é acusado pelo equipamento. Para que os defeitos sejam acusados de forma correta, o condutor deve estar aterrado no cavalete bobinador e a tensão do equipamento ajustada conforme espessura do isolamento, seguindo o especificado pela mesma norma.

Depois de receber o isolamento, ser resfriado, identificado e testado, o condutor é enrolado em uma bobina vazia pelo cavalete bobinador e segue para testes no Controle da Qualidade (CQ), ou para a próxima fase do processo de fabricação.

POLÍMEROS

Objetos feitos em plásticos e seus derivados, ou borrachas, estão presentes no cotidiano da humanidade e atualmente, devido à alta demanda de consumo, facilidade e flexibilidade de produção, e ao baixo custo do composto, sua aplicação é feita em praticamente todos os objetos manufaturados. É difícil imaginar uma atividade humana em que não possam ser utilizados artefatos fabricados com estes compostos. Exemplos de aplicação são na fabricação de eletrodomésticos, roupas, peças para veículos, meios de comunicação e isolamento de condutores elétricos, entre outras.

Plásticos e borrachas têm suas estruturas químicas formadas por macromoléculas denominadas de polímeros.

Polímero é qualquer material orgânico ou inorgânico, sintético ou natural, que tenha um alto peso molecular e com variedades estruturais repetitivas, sendo que normalmente esta unidade que se repete é de baixo peso molecular. (MANRICH, 2005, p.19).

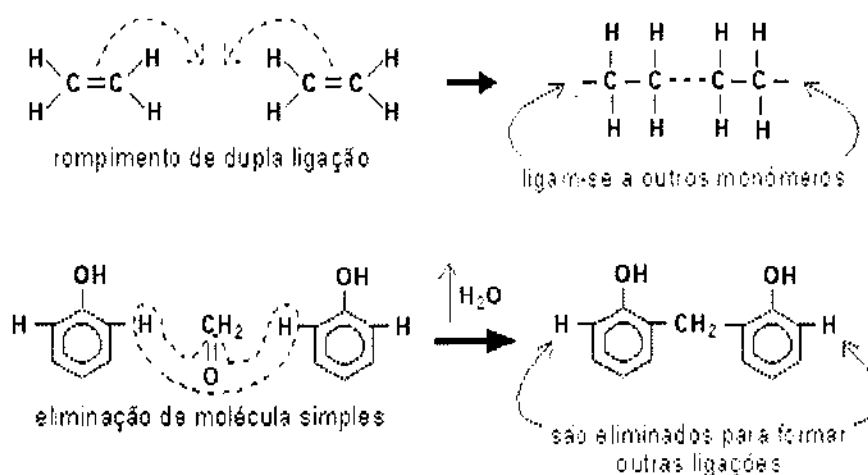


Figura 11 – Estruturas de Polímeros

Fonte: Rocha (1999)

O nome polímero se origina da união das palavras gregas "*poli*", que significa "muito", e "*mero*" que quer dizer "parte". Ou seja, um polímero é uma estrutura química resultante da união de estruturas menores, os monômeros, que se unem através do processo de polimerização em que se combinam quimicamente através de ligações primárias e estáveis para formar uma única cadeia cumprida. Os polímeros podem ser classificados conforme suas características tecnológicas em: termoplásticos, termofixos e elastômeros.

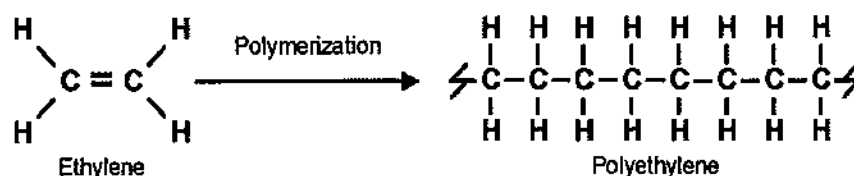


Figura 12 – Polimerização Polietileno

Fonte: Zeus Industrial Products

Os termoplásticos são os polímeros mais encontrados no mercado. Essa família de plástico pode ser fundida com alta temperatura e solidificada diversas vezes, com pouca ou nenhuma variação em suas propriedades básicas, característica muito apreciada atualmente por possibilitar a reciclagem. Os termoplásticos utilizados como isolamento e cobertura de condutores elétricos são o policloreto de vinil (PVC), polietileno (PE) e suas derivações (linear, linear de baixa densidade, baixa densidade e alta densidade), etileno-vinilacetato (EVA), polipropileno (PP) e o nylon.

Já os termofixos são polímeros muito estáveis à variação de temperatura, pois após sofrerem o processo de reticulação (ligações cruzadas), não mais se fundem ou são dissolvidos sem a ocorrência da degradação de sua estrutura química, impedindo que sejam remoldados. No processo de reticulação, também conhecido como *crosslinking* ou ligação cruzada, as moléculas lineares ou ramificadas se unem através de ligações covalentes fazendo com que o composto perca sua fluidez, produzindo polímeros de alta massa molecular. Devido a esta propriedade, os cabos elétricos isolados com este tipo de composto suportam maior capacidade de corrente se comparado com os cabos isolados com termoplásticos, uma vez que a passagem de corrente gera calor no condutor. Outras vantagens no isolamento de cabos são as características mecânicas do produto que possui menor deformação com o calor, maior resistência a tração e abrasão, e menor alongamento com a temperatura. Este composto também leva vantagem quanto às propriedades elétricas como melhor resistividade volumétrica, melhor constante dielétrica e fator de perdas, além de maior resistência à tensão de perfuração devido a aplicação de corrente elétrica. O termofixo mais utilizado no isolamento de cabos elétricos é o polietileno reticulado, também conhecido como XLPE.

A terceira classe de polímeros conforme características tecnológicas são os elastômeros. Esses compostos são intermediários entre os termoplásticos e os termofixos e apresentam comportamento elástico depois da reticulação (mesmo processo sofrido pelos termofixos). Também conhecidos como borracha, os elastômeros suportam grandes deformações antes de romper-se, não sendo passivo

de fusão como os termoplásticos e nem rígido como os termofixos. Como exemplo, um dos principais elastômeros utilizados como isolamento de cabos elétricos é etileno propileno (EPR), que apresenta vantagens se comparado ao XLPE quanto à resistência a umidade, conservando sua rigidez dielétrica por mais tempo e consequentemente a capacidade de isolamento do cabo.

NORMAS

Norma é um documento criado para que produtos ou serviços feitos sob seu regimento, ou o resultado gerado por eles, respeitem determinadas regras, diretrizes ou características e possuam repetibilidade em suas características, atendendo a requisitos mínimos. Dentre os vários benefícios gerados pela utilização de normas para execução de atividades, pode-se citar a simplificação, reduzindo a variedade de procedimentos e produtos, redução de custos, através da ordenação e sistematização das atividades, segurança, estabelecendo requisitos mínimos para garantir a integridade da segurança humana, qualidade e proteção ao consumidor, especificando requisitos mínimos de qualidade aos produtos, e melhoria na comunicação entre produtor e consumidor.

As normas podem ser elaboradas por órgãos reconhecidos ou pelo consenso de pessoas ou empresas que desejam definir critérios para determinado fim. No Brasil, o órgão responsável pela normalização técnica é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Existem dois tipos de normas, as Normas Regulamentadoras (NR) que são normas de caráter obrigatório estipuladas pelo Ministério do Trabalho e Emprego para certos tipos de atividades, e as normas ABNT NBR que são normas de caráter voluntário e fundamentada no consenso da sociedade.

Além dos órgãos nacionais, existem comissões internacionais que definem requisitos para sistemas de gestão que garantem a capacidade das empresas em fornecer produtos ou serviços com qualidade a seus clientes. Um destes órgãos é a Organização Internacional de Padronização (ISO – *International Organization for Standardization*), cuja representação e certificação no Brasil é feita através da ABNT. A ISO é uma organização não governamental, presente em mais de 100

países, que tem como objetivo promover a padronização de produtos e serviços para que, com a utilização de normas, a qualidade destes sejam garantidas e melhoradas. A ISO cria normas para vários segmentos, porém, ficou mais conhecida através da norma ISO 9000, um conjunto de normas que formam um modelo de sistema de gestão e garantia da qualidade. Ser certificado ISO 9000 significa ter um sistema de gestão baseado em qualidade e na satisfação do cliente.

A certificação não é uma obrigatoriedade, no entanto várias empresas adotam devido aos benefícios trazidos e também às exigências de alguns clientes, principalmente quando estes são grandes empresas. No entanto, além da qualidade garantida no processo de fabricação de um item, exigido pelo cliente, certos tipos de produtos precisam seguir normas de requisitos técnicos mínimos para garantir sua funcionalidade, a segurança de quem o utilizará e a integridade de equipamentos que a ele estão conectados, como é o caso dos cabos elétricos. Essas normas são criadas pela ABNT e são elaboradas conforme aplicação do cabo e local de utilização. São alguns exemplos de normas para cabos elétricos:

- **NBR 6251:06** - Cabos de potência com isolamento extrudada para tensões de 1kV a 35kV – requisitos construtivos;
- **NBR 7285:01** - Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de polietileno termofixo para tensões até 0,6/1kv - sem cobertura;
- **NBR 7288:94** - Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de cloreto de polivinil (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1kv a 6kv;
- **NBR 8182:03** - Cabos de potência multiplexados autossustentados com isolamento extrudada de PE ou XLPE, para tensões até 0,6/ kv - requisitos de desempenho;

- **NBR 13248:00** - Cabos de potência e controle com isolação sólida extrudada e com baixa emissão de fumaça para tensões de isolamento até 1kV;
- **NBR 13418:95** - Cabos resistentes ao fogo para instalações de segurança;
- **NBR 14039:05** - Instalações elétricas de média tensão de 1,0kV a 36,2kV;

NÃO CONFORMIDADE

Um dos itens definidos pela ISO 9000 diz respeito aos critérios para aprovação de um produto ou serviço. Não em relação aos critérios em si, mas ao atendimento a eles. A norma não especifica quais são esses critérios, mas diz que o produto deve obedecer aos requisitos mínimos estabelecidos pelo cliente ou por uma norma vigente sobre ele. Segundo definições da própria ISO 9000, não conformidade é o não atendimento a um requisito, ou seja, não atendimentos às necessidades ou expectativas, também segundo a norma.

TIPOS DE NÃO CONFORMIDADES EM CABOS ELÉTRICOS

São exemplos de não conformidades em cabos elétricos:

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Furo causado por caroço de material queimado vindo da extrusora

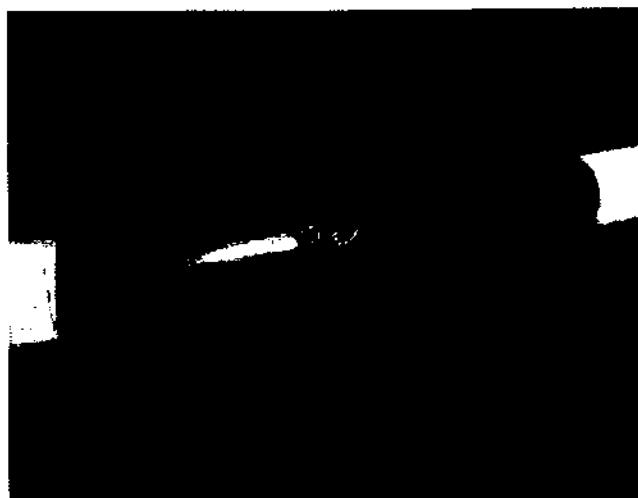


Figura 13 – Cabo Furado

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito
Causa Provável: Má formação do condutor na máquina de encordoamento.

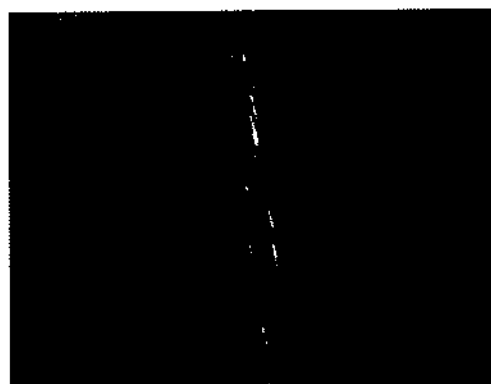
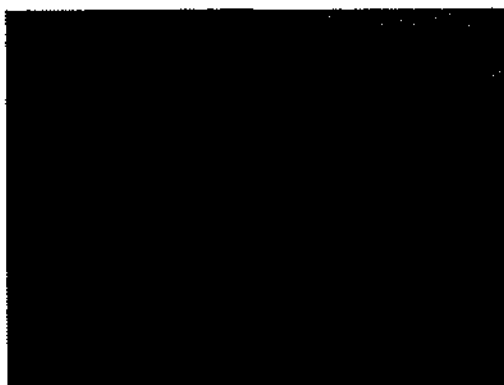


Figura 14 – Má Formação do Condutor

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito
Causa Provável: Variação no fluxo de composto devido a dureza do composto.

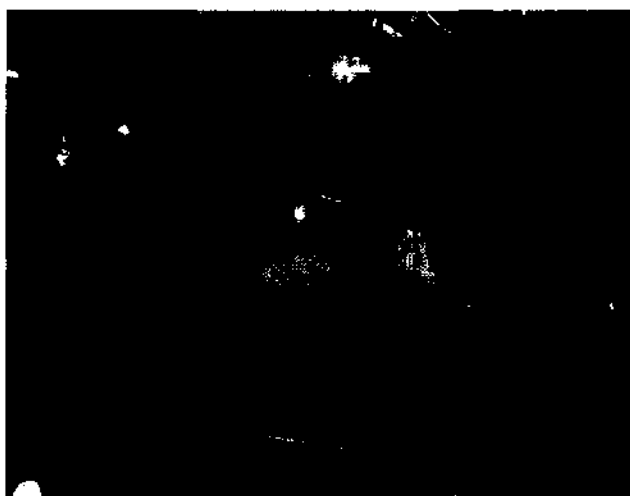


Figura 15 – Variação no fluxo de composto

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito
Causa Provável: Fita de absorção de umidade rasgada e com isso o isolamento penetrou na blindagem



Figura 16 - Fita de Absorção de Umidade Rasgada

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Excesso de freio na máquina reunidora ou nas linhas de fracionamento fez com que o neutro (condutor nú) esmagasse o isolamento da fase cinza. Com isso a espessura nesta parte ficou menor e acusou furo no teste de tensão aplicada.



Figura 17 - Isolamento Esmagado

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Massa fria – PVC. A massa fria pode ser causada por alguns motivos: Perfil de temperatura baixo do cilindro da extrusora, o que dificulta ou impossibilita a plastificação do composto, ou baixo tempo de residência do material dentro da camisa, fazendo com que não haja tempo suficiente para a plastificação.



Figura 18 – Massa Fria

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Não atendimento à norma:

Causa Provável: Dano mecânico ao longo da linha – isolamento raspado em alguma quina ao longo da linha.

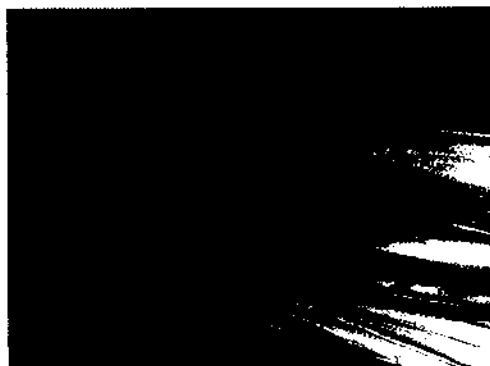


Figura 19 – Dano Mecânico na Linha de Extrusão

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Capa marcada internamente com fita isolante devido a um problema na capa interna do cabo, cuja função é preencher o interstício de cabos reunidos e dar forma geométrica ao cabo, o operador passou fita isolante para evitar que a capa externa penetrasse sob a capa interna, o que acabou gerando uma não conformidade devido o plástico da capa externa ter copiado a fita.

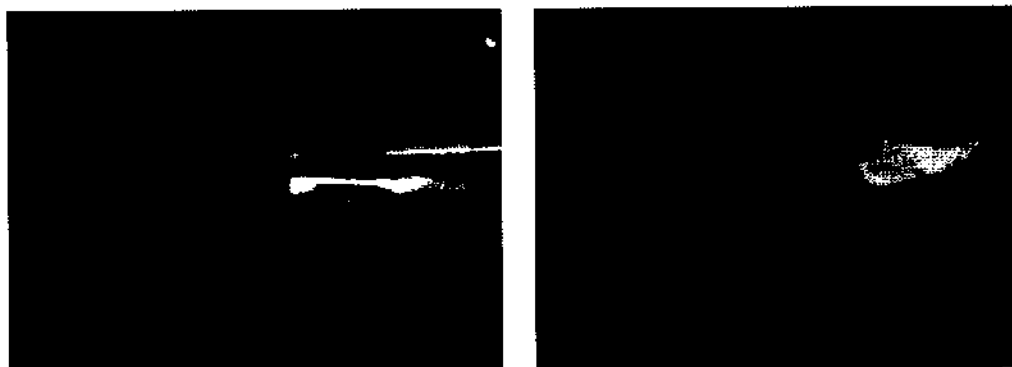


Figura 20 – Fita na Capa Interna

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Rompimento da fita de poliéster aplicada longitudinalmente por baixo da cobertura, causada por falta de regulagem dos freios do desbobinador do carretel da fita ou por algum tranco na linha, uma vez que a fita é fina e se rompe facilmente.

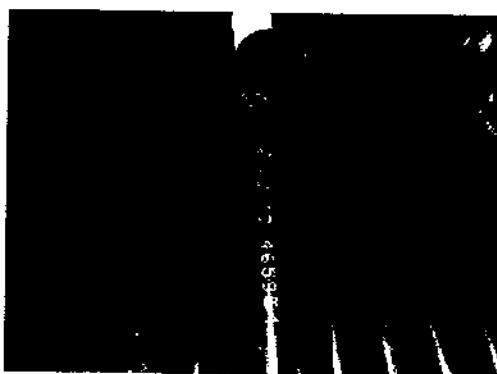


Figura 21 – Fita Poliéster Rompida

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Composto queimando dentro da extrusora devido a problemas com controle de temperatura, perfil de temperatura inadequado ao tipo de composto ou muito tempo de máquina parada com material na rosca.

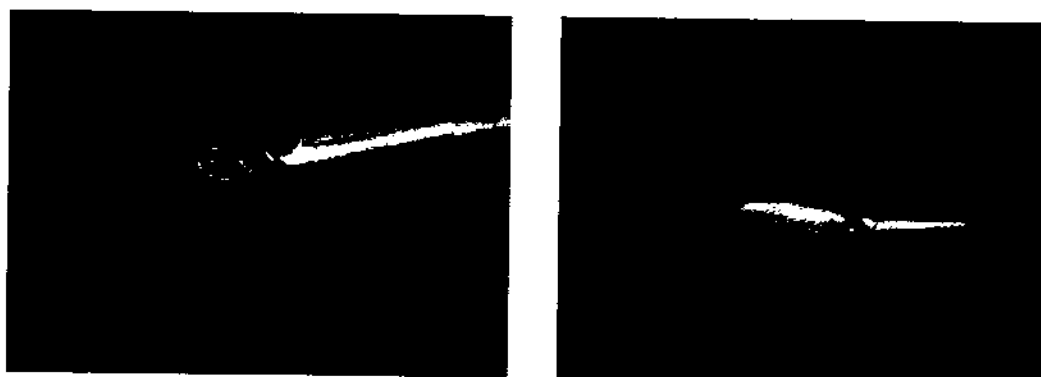


Figura 22 – Composto Queimado

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Devido ao desenho da placa porta filtro, as malhas de filtragem dobram nos cantos permitindo passagem de material não filtrado e também liberando fios de aço da malha no meio do isolamento.

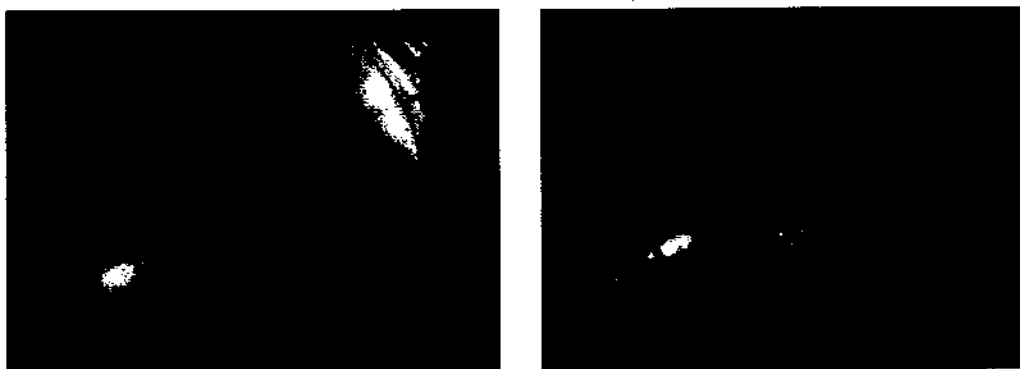


Figura 23 – Tela de Filtragem

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Má formação dos condutores flexíveis de cobre - Fios de cobre ressaltados cortando o isolamento de dentro para fora.

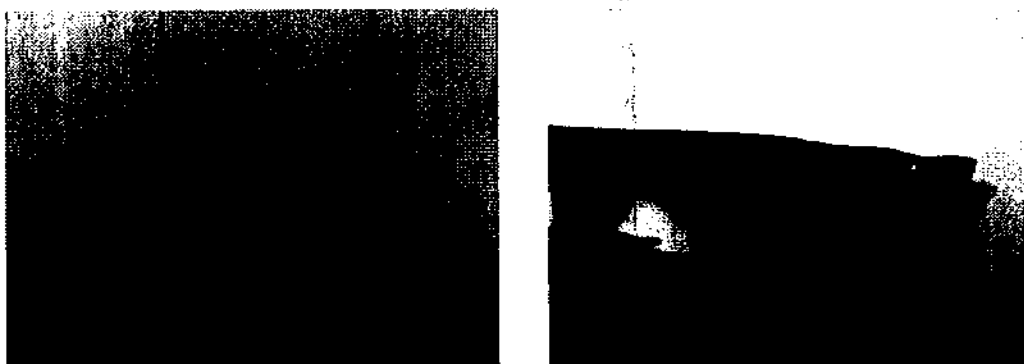


Figura 24 – Fio Levantado do Condutor Flexível

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Pré-reticulação do XLPE dentro da camisa da extrusora, liberando caroços no isolamento.



Figura 25 – XLPE Pré-Reticulado

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Die drool disprendido da fêmea de extrusão.



Figura 26 – Die Drool

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Matéria prima contaminada

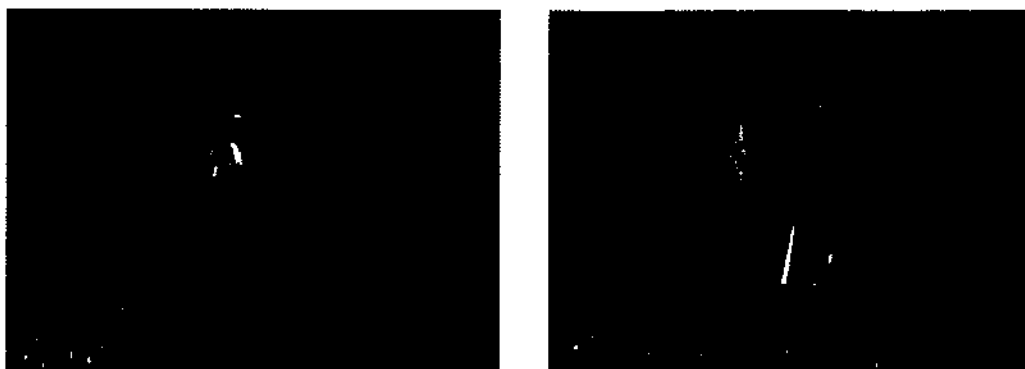


Figura 27 – Matéria prima Contaminada

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Extrusão em Tandem (duas extrusoras em série na linha, a primeira aplicando a capa interna do cabo e a segunda aplicando a capa externa) – A capa interna, depois de ser extrudada pela primeira extrusora, passou pela calha de resfriamento e não foi suficientemente seca antes de entrar na segunda cabeça de extrusão.

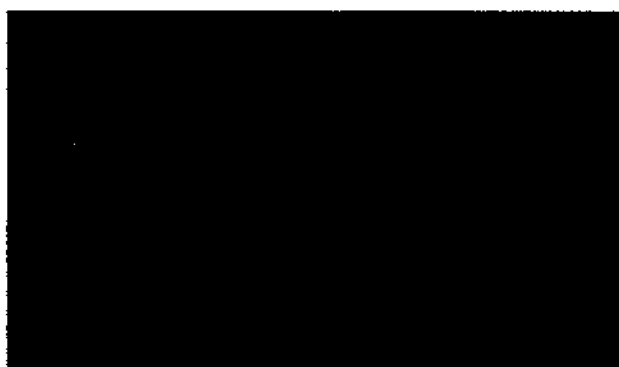


Figura 28 – Umidade na Capa Interna

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou capa com Defeito

Causa Provável: Perfil de temperatura elevado para semicondutora e isolamento, ou calha de resfriamento muito longe da cabeça de extrusão, o que faz com que o composto demore muito para ser resfriado.

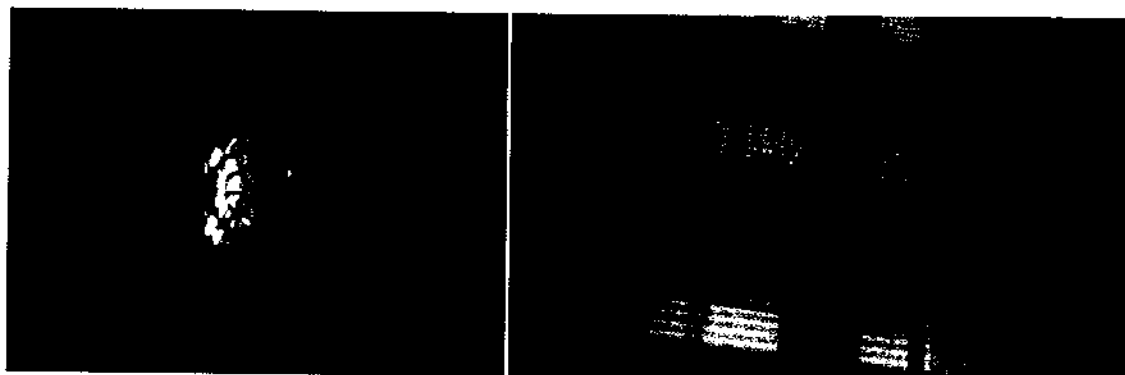


Figura 29 – Bolha na Camada Semicondutora

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Bolhas de ar em contato com a superfície do isolamento dentro da calha. Sistema no início da calha de resfriamento não permite boa vedação da água, por isso utilizam-se panos para controlar o nível da água na calha. Devido à turbulência da água e o movimento do cabo passando, geram bolhas de ar que em contato com a superfície do cabo marcam o isolamento dentro da calha.

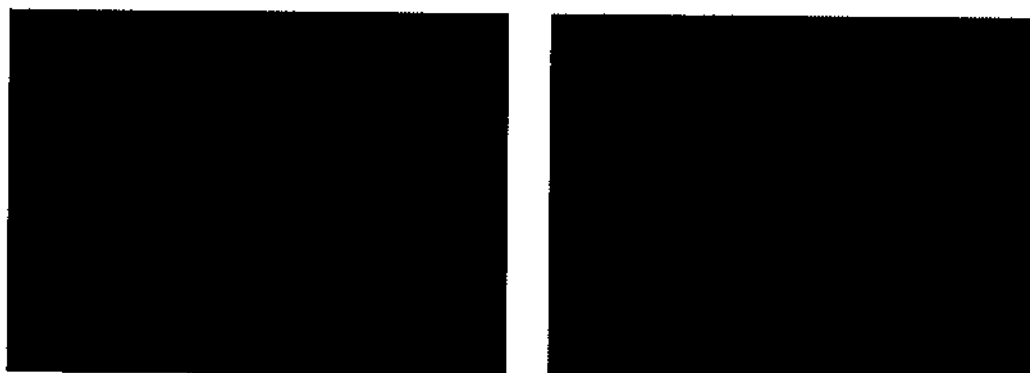


Figura 30 – Bolha de Ar Dentro da Calha de Resfriamento

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Cabo danificado por empilhadeira

Causa Provável: Desatenção do operador da empilhadeira ao movimentar a bobina com cabo isolado ou falta de regulagem na abertura do garfo da empilhadeira de acordo com a bobina a ser transportada.



Figura 31 – Cabo Danificado por Empilhadeira

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Material pré-reticulando na camisa da extrusora – XLPE com alto teor de peróxido e silano fazendo com que a matéria prima pré-reticule na extrusora.

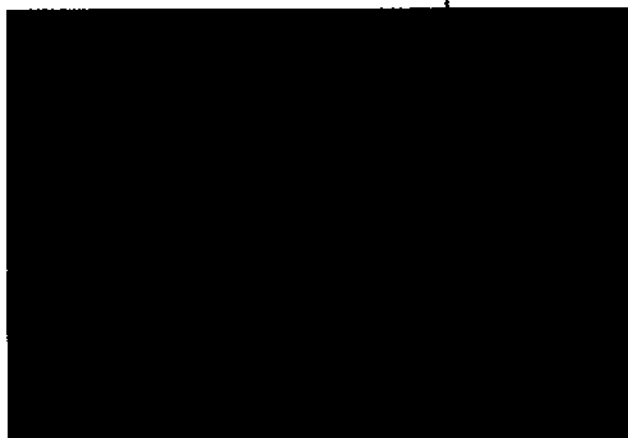


Figura 32 – XLPE Pré-Reticulado 2

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Material pré-reticulando na camisa da extrusora – Dosagem errada entre composto base e master catalítico fazendo a mistura ficar com alta concentração de negro de fumo.



Figura 33 – Excesso de Negro de Fumo

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Porosidade

Causa Provável: Queima do composto por ter ficado muito tempo parado na camisa da extrusora, dosagem em porcentagem errada da mistura do composto, baixa temperatura das ferramentas de extrusão.

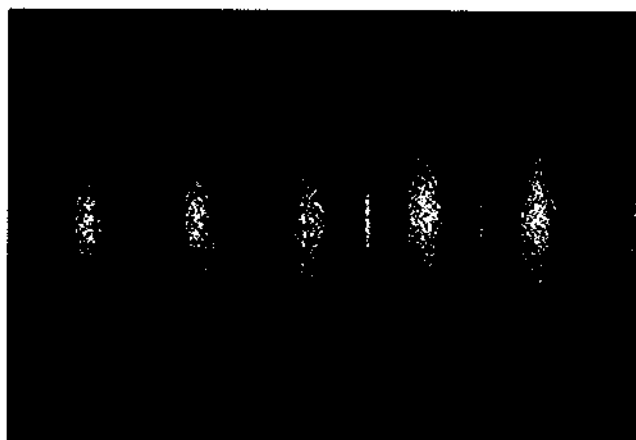


Figura 34 – Porosidade

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Fora de Centro

Causa Provável: Falha Operacional - Falta de autocontrole do operador. Ao iniciar a produção da capa interna o operador não verificou a centralização.



Figura 35 – Cabo fora de Centro

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Friso

Causa Provável: Die drool ao redor da fêmea, marcando a superfície do isolamento.



Figura 36 – Cabo Frisado

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Furado

Causa Provável: Condutor de alumínio repleto de limalhas, que se acumulam na ponta do macho e ocasionalmente são liberadas para o isolamento, ocasionando o furo.



Figura 37 – Limalha de Alumínio

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Isolamento ou Capa com Defeito

Causa Provável: Condutor aberto – O isolamento penetra na corda aberta, vindo a apresentar defeito no isolamento e podendo até ocasionar furos.

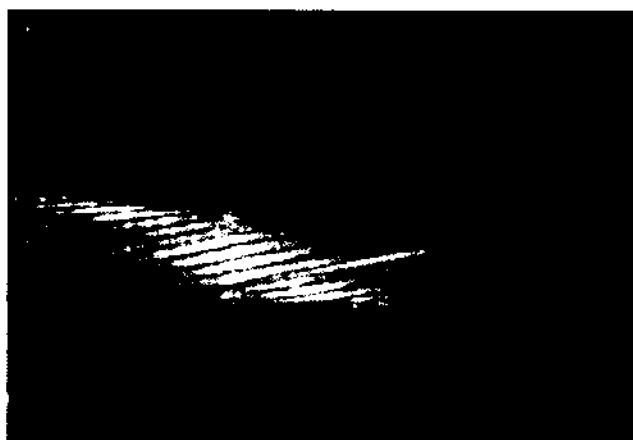


Figura 38 – Corda Aberta

Fonte: Empresa X

- **Ocorrência:** Lance Irregular

- **Causa Provável:** Mal embobinamento na fase anterior de produção, vindo a enlaçar o cabo quando estava sendo desbobinado na fase de extrusão. A máquina teve de ser parada para não arrebentar o condutor.

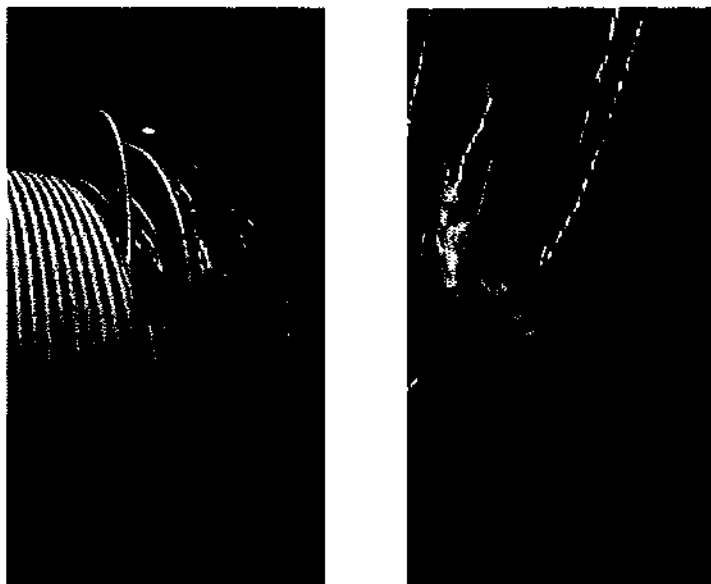


Figura 39 – Mal Embobinamento

Fonte: Empresa X

3. Materiais e Métodos

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA

A empresa em análise é uma multinacional atuante no segmento de cabos elétricos especiais, aqui denominada Empresa X. Entre seus produtos, a Empresa X fabrica cabos de alumínio para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e produz toda a linha de cabos de cobre e alumínio isolados para os segmentos industriais e de construção civil. Certificada conforme as normas NBR ISO9001, NBR ISO14001 e OSHAS18001, essa empresa conta com um sistema de gestão integrada (SGI) que engloba o sistema de gestão da qualidade (SGQ), onde são registradas as não conformidades encontradas na produção, sistema de gestão ambiental (SGA) e o sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional, respectivamente conforme as normas.

A planta da empresa, objeto desta pesquisa, tem seu arranjo físico na forma celular e é dividida em quatro áreas: Laminação, célula que recebe alumínio líquido e o transforma em vergalhões; Metais/Transformação, célula que trefila os vergalhões de alumínio e encordoa os fios fazendo condutores nus; Cobre, área responsável por trefilar os vergalhões vindos de fornecedores externos e fazer os condutores de cobre nu; e Plásticos, célula responsável por isolar todos os produtos isolados, seja alumínio ou cobre. Esta planta é responsável por 70% da produção da empresa no Brasil, o que corresponde a 4000 toneladas de cabos prontos mensalmente. Deste volume, 50% correspondem a cabos isolados que passam pelo processo de extrusão na célula de plásticos. Atualmente, registra-se mensalmente nesta planta, através de controles internos do SGQ, uma média de 300 não conformidades/mês, sendo que deste total 90% são cabos isolados, gerando retrabalho para o setor ou descarte de produtos, o que resulta em prejuízo financeiro para a empresa.

APRESENTAÇÃO DO MÉTODO

Em muitas empresas, é comum que o tratamento de uma não conformidade se encerre na disposição imediata, ou seja, atua-se na correção do problema e não na investigação e solução da causa raiz. Neste trabalho será aplicada a metodologia PDCA de melhoria contínua buscando atuar nos problemas em sua origem, minimizando novas ocorrências.

Utilizando a base de dados do sistema de gestão da empresa em questão, realizar-se-á um estudo para levantar informações sobre os tipos de não conformidades e sua incidência no processo em um período de tempo definido. O banco de dados que será consultado é feito sob a plataforma Oracle e está disponível em todos os computadores da empresa através da intranet. Ao abrir o *software*, o usuário vê uma interface gráfica onde, dentre outras funções, é possível abrir o registro de uma nova não conformidade (NC) ou consultar em um determinado período de tempo as não conformidades que foram registradas. Ao selecionar a opção para abrir uma nova não conformidade, o usuário deve preencher informações fundamentais para a rastreabilidade do produto, e investigação e análise do problema. Destas informações faz parte o "número do lote", onde o usuário informa o lote da bobina que apresentou a não conformidade. Ao preencher o número do lote, o sistema reconhece e preenche automaticamente o tipo do produto, seu código, a família a que pertence, por exemplo, alumínio isolado de baixa tensão, e qual o número da sua ordem de produção. Ao terminar a identificação do produto, o campo "quantidade" fica disponível para ser preenchido com a quantidade em metros de bobina não conforme contém, o sistema gera um número automático para a NC colocando como elaborador o usuário que estiver utilizando seu *login/senha*.

Após o preenchimento das informações para rastreabilidade, o usuário deve preencher as informações referentes da não conformidade em si. O primeiro campo a ser preenchido é a seleção da ocorrência em um menu com itens definidos, como por exemplo, "Furado" ou "Isolamento/Capa com defeito". O próximo passo é selecionar o setor em que a não conformidade foi gerada e em seguida preencher o campo descrição, onde o usuário deverá descrever as características da não

conformidade. O item seguinte é a seleção da "Causa Provável", onde o usuário, dentro de causas pré-definidas e do seu conhecimento no processo, deverá selecionar o que julga ser a causa do problema. O último campo para preenchimento é a "Descrição da Causa Provável", onde deverão ser detalhados quais fatores contribuíram para a geração da não conformidade.

Através da opção "Consultar NC" é possível consultar e filtrar as não conformidades geradas através do número da não conformidade, lote da bobina, código do produto, número da ordem de produção, elaborador da NC, tipo de NC, setor, ocorrência, causa provável, família de produtos e todas as não conformidades geradas em certo período de tempo.

As não conformidades em produtos prontos podem ser abertas em três setores da empresa, na produção, quando o operador ou algum equipamento de teste na linha detecta defeitos enquanto o cabo é processado, no controle de qualidade, onde 100% dos produtos passam por inspeção visual e são submetidos aos testes exigidos pelas normas vigentes sobre o mesmo, ou no setor de logística, antes de ser enviado ao cliente, pois, depois de liberado pelo CQ o material é transportado por empilhadeiras e pode sofrer alguma avaria nesse processo.

Para recolher as informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, o banco de dados foi consultado no período de 29 de junho de 2012 a 06 de agosto de 2012 e foram levadas em consideração apenas as não conformidades abertas na célula de Plásticos ou no CQ e que haviam sido enviadas da célula de Plásticos. Os dados obtidos na base consultada foram separados em gráficos de Pareto conforme o tipo de "Ocorrência", e cada uma das duas mais incidentes desdobradas em subtipos para que o estudo fosse mais aprofundado, possibilitando identificar os agentes causadores da não conformidade. Após fazer os desdobramentos de Pareto, as não conformidades foram analisadas através do diagrama de causa e efeito de Ishikawa, onde os fatores que contribuem para a geração das não conformidades foram listados para estabelecer sua relação com a NC e separados em 6 grupos diferentes de acordo com o tipo de sua origem, compondo a espinha de peixe ou os 6M (método, mão de obra, matéria prima, medição, máquina e meio ambiente).

Para encontrar a causa raiz dos fatores listados no Gráfico de Ishikawa foi utilizada, em todos os itens listados, a técnica de questionamento dos "5 porquês", ferramenta criada pela empresa Toyota em que se pergunta porque o fato ocorreu até que a origem do problema seja identificada. Com as causas raiz identificadas, um plano de ação foi criado através do método 5H 2H (*what, why, how, where, who, when, how much*) onde para cada fator foi elaborada uma ou mais ações para que este seja minimizado ou eliminado. Para cada ação criada um responsável foi indicando para fazer cumprir o que foi designado, indicando prazo para a conclusão da atividade. O plano foi avaliado semanalmente para acompanhar o desenvolvimento das ações e tomar medidas corretivas às ações já realizadas, caso as ações não fossem eficazes.

PDCA NÃO CONFORMIDADES

Para início das atividades, foi eleito um líder para o trabalho e criou-se um grupo responsável pela análise das informações e tratativa dos problemas que são de respeito das suas respectivas áreas. Fazem parte deste grupo pessoas das áreas de produção, processo, programação e controle da produção, manutenção e controle de qualidade.

Consultando o banco de dados interno da Empresa X, obtiveram-se informações sobre as não conformidades ocorridas na fábrica no período de 29 de junho de 2011 a 6 de agosto de 2011 para identificação da grandeza do problema. Neste período, foram geradas 344 não conformidades totais na empresa, das quais algumas foram eliminadas, pois este trabalho visa analisar apenas as NC que foram oriundas de falhas no processo de extrusão dos polímeros e de equipamentos e pessoas envolvidas nesta atividade, totalizando 265 NC's (77% do total das não conformidades). Problemas relacionados a outras etapas do processo não serão apresentadas aqui.

Neste mesmo período a fábrica produziu 2127 toneladas de cabos isolados de maneira conforme, o que representa 1 NC a cada 8 toneladas de material bom. O gráfico abaixo mostra as ocorrências das NC geradas.

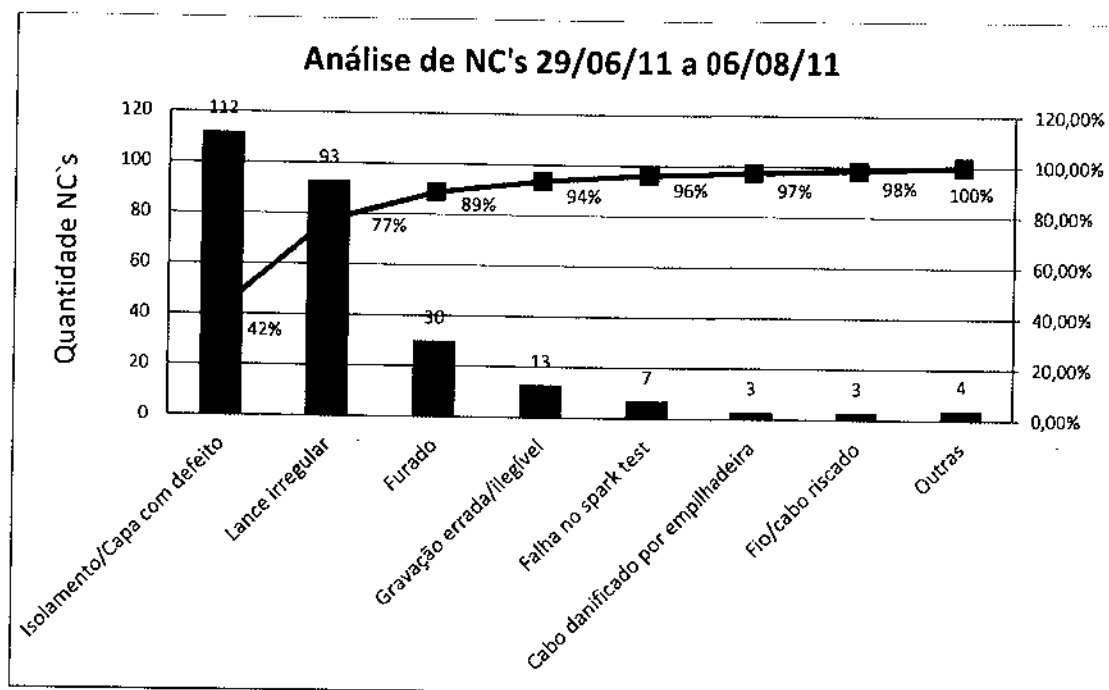


Gráfico 2 – Pareto Não Conformidades

São definições das ocorrências mostradas no gráfico:

- **Isolamento/capa com defeito:** qualquer defeito superficial no isolamento ou capa de um cabo. Segundo definições das normas, o isolamento deve ser contínuo e uniforme em toda sua extensão;
- **Lance irregular:** quando a metragem final no cabo fica abaixo ou acima da metragem exigida pelo cliente;
- **Furado:** ao finalizar a produção, todos os cabos são testados pelo centro de qualidade. Os cabos isolados devem ser submetidos ao teste de tensão aplicada e o isolamento não pode apresentar pontos de fuga de corrente. Segundo definições, o cabo não deve apresentar perfuração em sua camada de isolação no período em que a tensão for aplicada;

- **Gravação errada/ilegível:** todos os cabos isolados recebem gravação sobre o isolamento para identificação do cabo, que inclui, entre outras informações, seção transversal do condutor e classe de tensão para aplicação. O texto gravado deve estar ao longo do comprimento do cabo e estar legível para fácil identificação;
- **Falha no spark teste:** na linha de extrusão, o cabo deve ser submetido ao teste de centelhamento para uma pré-identificação de problemas no isolamento. O equipamento que realiza este teste é chamado de spark teste e é exigido pela norma ABNT NBR NM244;
- **Cabo danificado por empilhadeira:** grande parte da movimentação de bobinas no interior da fábrica é realizada por empilhadeiras. Caso a abertura do garfo não esteja configurada para determinado tamanho de bobina, ou o operador da empilhadeira não for cuidadoso, pode ocorrer dano na superfície do cabo através da batida do garfo;
- **Fio/cabo riscado:** condutor riscado longitudinalmente em todo seu comprimento vindo da fase de encordoamento, não podendo receber isolamento;
- **Outras:** soma das não conformidades geradas por espessura do isolamento abaixo do mínimo exigido por norma, cor do isolamento diferente do padrão e cabo com fio encavalado identificado na superfície da bobina de condutor nu.

Analisando o Gráfico 2 e através da técnica de priorização de Pareto (80-20), foi identificado que as não conformidades de isolamento/capa com defeito e lance

irregular são responsáveis por 77,36% das não conformidades de processo, e por isso devem ser tratadas com maior prioridade.

A fim de obter mais informações a respeito destes dois tipos de não conformidades, foi realizado o desdobramento das informações para facilitar a identificação das fontes causadoras.

ISOLAMENTO/CAPA COM DEFEITO

Como não conformidade mais frequente, isolamento/capa com defeito representa 42,26% das ocorrências, sendo registrada 112 vezes. Destas ocorrências, o primeiro passo para auxiliar a origem das causas foi a estratificação dessas ocorrências por máquina e pelo composto do isolamento.

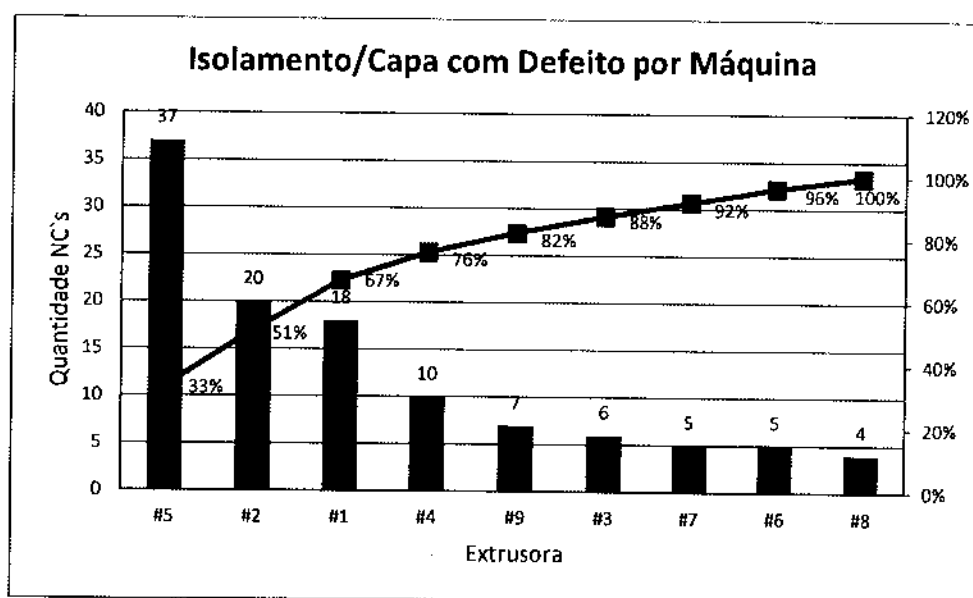


Gráfico 3 – Isolamento/Capa com Defeito por Máquina

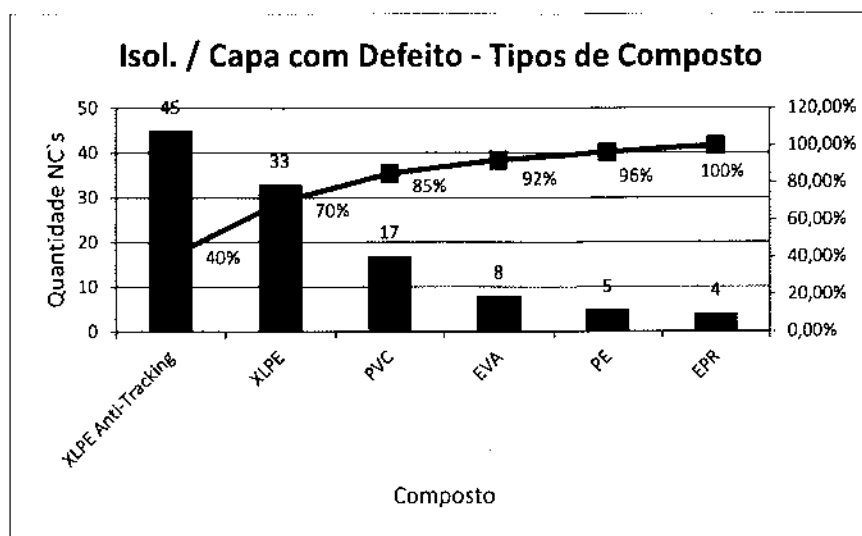


Gráfico 4 – Isolamento/Capa com Defeito por Tipo de Composto

Como 80% das não conformidades de isolamento/capa com defeito estão distribuídas em várias máquinas, em consenso de todos os participantes de grupo deste PDCA, optou-se por fazer o desdobramento das ocorrências das 3 extrusoras mais incidentes (#5, #2 e #1) que representam juntas 66,96% das não conformidades. Quanto aos compostos utilizados como isolamento, verificou-se que os mais problemáticos são o XLPE Anti-Tracking, XLPE e PVC.

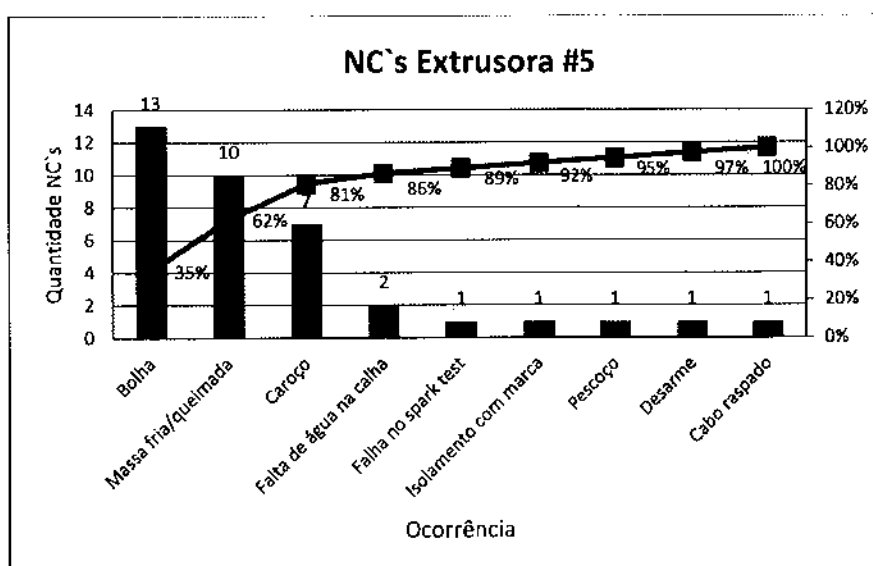


Gráfico 5 – Isolamento/Capa com Defeito na Extrusora #5

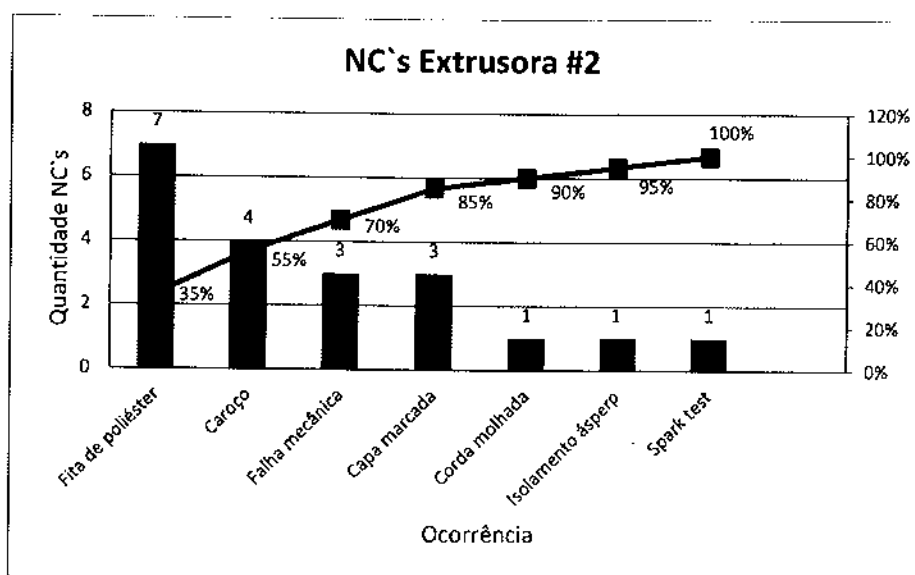


Gráfico 6 – Isolamento/Capa com Defeito na Extrusora #2

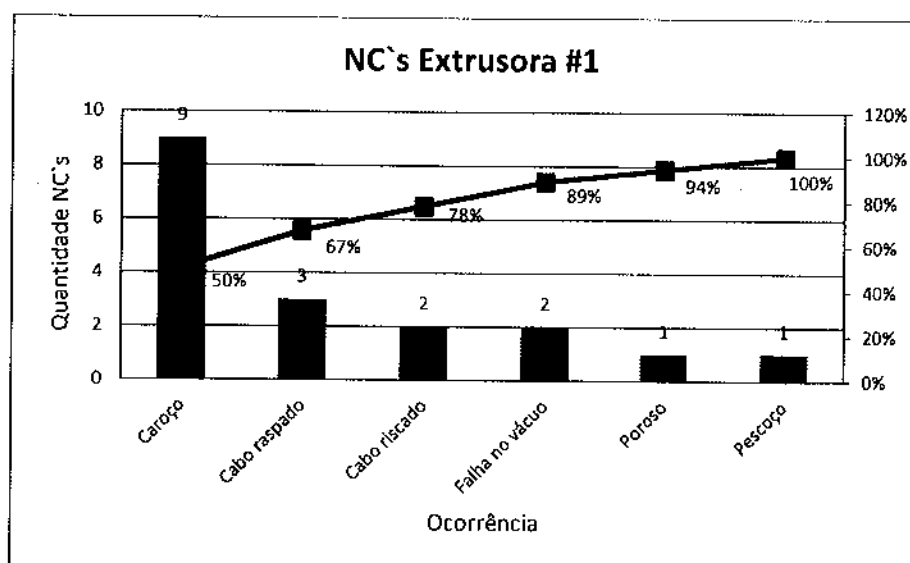


Gráfico 7 – Isolamento/Capa com Defeito na Extrusora #1

Como observado nos gráficos, as ocorrências de não conformidades são bem variadas. Esse fato se deve à diversidade de produtos que passam pelas linhas de extrusão e dos tipos de polímeros utilizados em seus isolamentos/capas. Outro fato a ser observado, é que algumas ocorrências se repetem em todas as linhas, como é o caso dos caroços, sempre presentes entre as 3 maiores incidências. Já outras não conformidades aparecem apenas em uma determinada linha, pois são originadas

por fatores de produtos específicos que somente são produzidos naquela máquina, como por exemplo, problemas com fitas de poliéster e blindagem, que são matérias primas utilizadas em cabos de média tensão que somente são extrudadas as capas na extrusora #2.

LANCE IRREGULAR

Como segunda maior ocorrência está a não conformidade causada por lance irregular. Ao fazer o pedido de um cabo, o cliente especifica a metragem que precisa. Alguns clientes aceitam variação no comprimento do cabo, tanto para mais quanto para menos, geralmente variação de 3%. Já outros exigem que o cabo tenha somente a metragem especificada, sem variação.

O lance irregular é caracterizado quando a metragem do produto final sai diferente do especificado, tanto para menor quanto para maior, incluindo a variação, caso tenha. Seguindo o mesmo critério utilizado nas não conformidades de isolamento/capa com defeito, a estratificação das informações de lance irregular foi feita por máquina e por família de cabo, para verificar o impacto da fase de extrusão nas máquinas seguintes do processo.

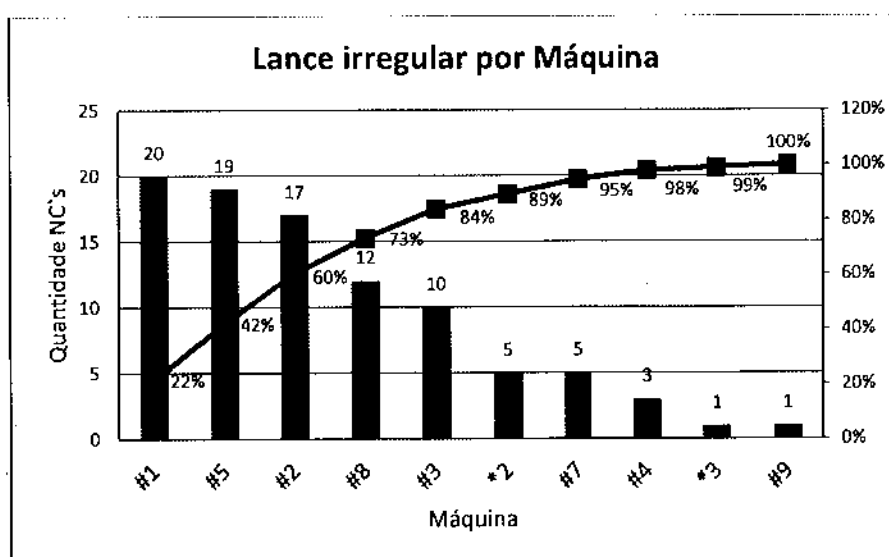


Gráfico 8 – Lance Irregular por Máquina

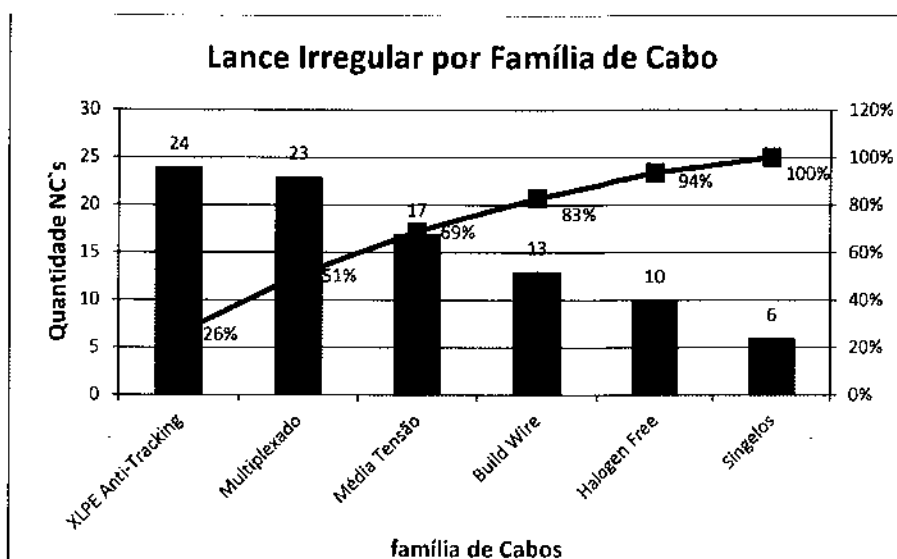


Gráfico 9 – Lance Irregular por Família de Cabo

Assim como nas ocorrências de isolamento/capa com defeito, as extrusoras #1, #5 e #2 são as 3 maiores geradoras de não conformidades e por esse motivo, são as máquinas que terão as informações desdobradas para verificar se a maior ocorrência são de lances menores ou maiores que o pedido do cliente. Analisando o Gráfico 9, vê-se que as duas famílias de cabo que mais geram não conformidades são a de XLPE Anti-Tracking e cabos multiplexados, cujos 95% dos condutores são feitos de alumínio EC1305.

Um fato curioso notado ao analisar o Gráfico 8 é que aparecem as reunidoras de cabo *2 e *3. Esse tipo de máquina reúne os cabos multiplexados e somente gera não conformidade de lance irregular quando ocorre algum problema de manutenção, o que faz com que uma das fases se rompa antes de atingir o lance mínimo. Quando problemas de manutenção não ocorrem, o lance irregular é causado devido à fase anterior do processo, neste caso as extrusoras, enviarem metragem de cabo insuficiente para que possam ser reunidos e atender o lance mínimo exigido pelo cliente. Em alguns casos, o operador da extrusora envia para a reunidora o cabo já na metragem final do pedido, não considerando a perda que ocorre na reunião, geralmente 1%.

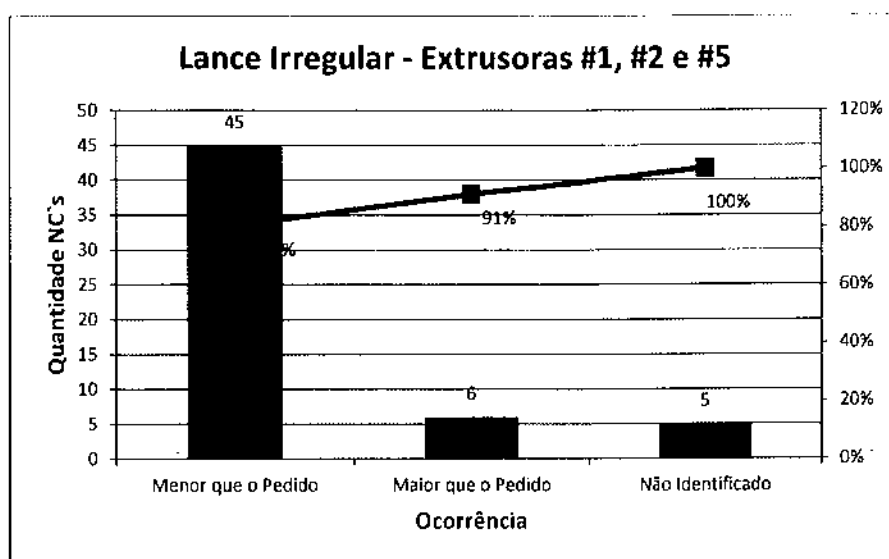


Gráfico 10 – Lance Irregular nas Extrusoras #1, #2 e #5

Através das informações mostradas no Gráfico 10, fica claro que a maior incidência é a de lances menores que o pedido, representando 80% do total (45 ocorrências). Lendo a descrição das não conformidades preenchidas pelos operadores das máquinas foi possível classificar essas não conformidades em 5 categorias, conforme Gráfico 11.

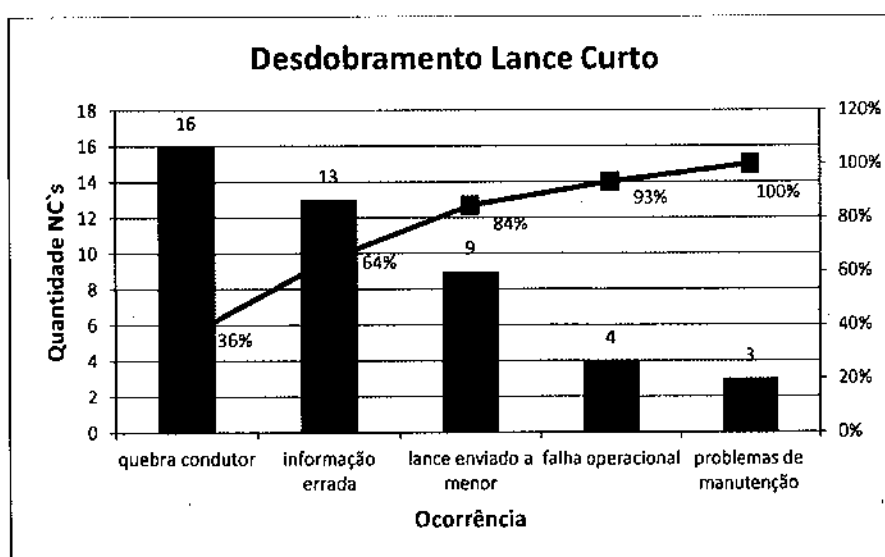


Gráfico 11 – Desdobramento Lance Curto

Após o desdobramento das duas principais não conformidades, foi elaborado o diagrama de Ishikawa para os problemas mais ocorrentes das 3 extrusoras escolhidas, tanto de isolamento/capa com defeito, como para lance irregular.

Para isolamento/capa com defeito, as NC analisadas foram:

- Bolha
- Massa fria/queimada
- Caroço
- Fita de poliéster
- Cabo raspado
- Cabo riscado

Para lance irregular, foram analisada as seguintes ocorrências:

- Quebra de condutor na extrusora
- Informação errada
- Lance enviado a menor

Abaixo será apresentado o Diagrama de Ishikawa feito para as não conformidades de Bolha e Quebra de condutor, que servirão como exemplo no restante do trabalho.

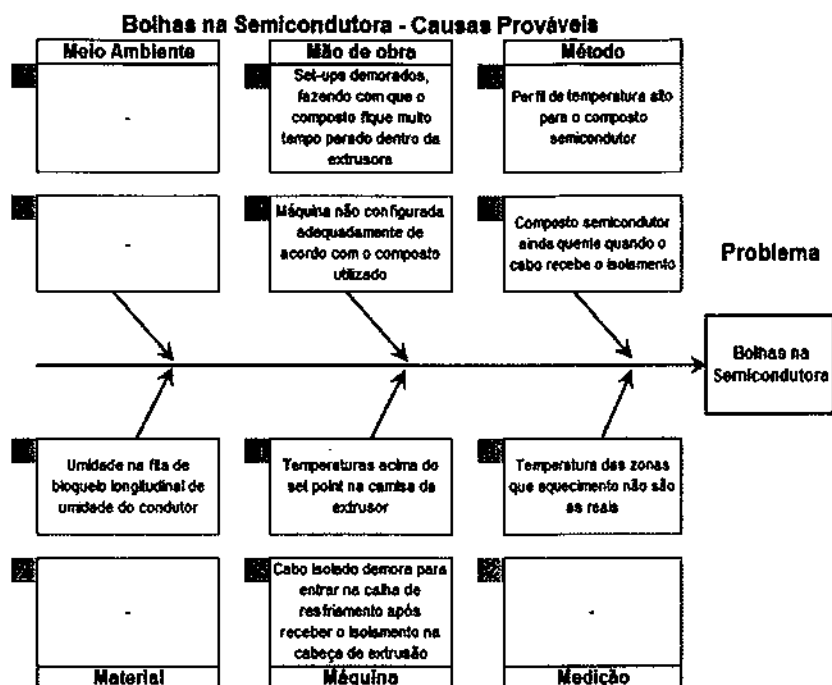


Figura 40 – Diagrama de Causa e Efeito de Bolhas na Semicondutora

Fonte: Autoria Própria

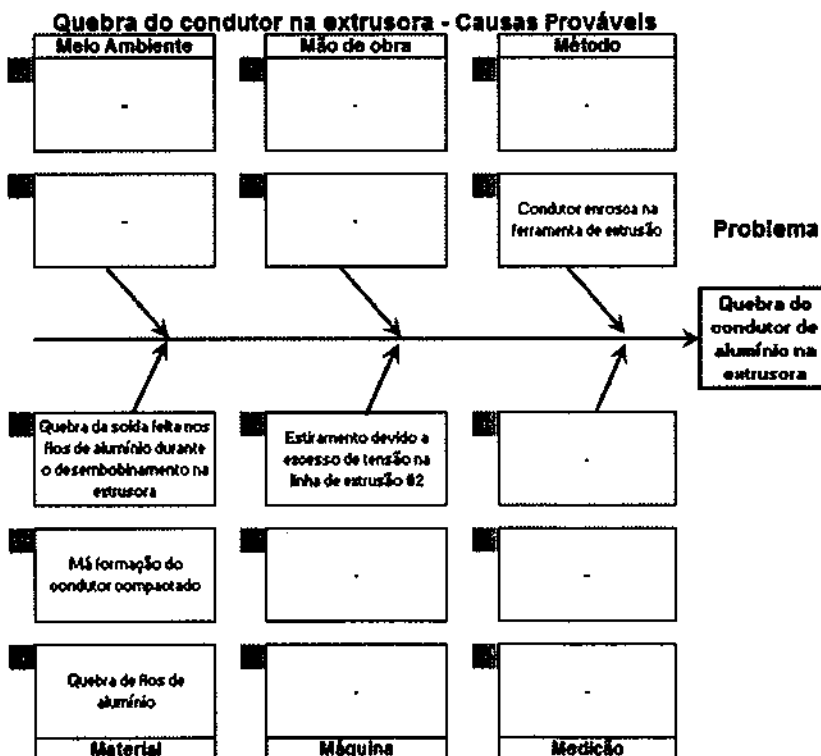


Figura 41 – Diagrama de Causa e Efeito de Quebras no Condutor

Fonte: Autoria Própria

Com as fontes potenciais identificadas, inicia-se o questionamento de porque o motivo aconteceu, até chegar à causa raiz.

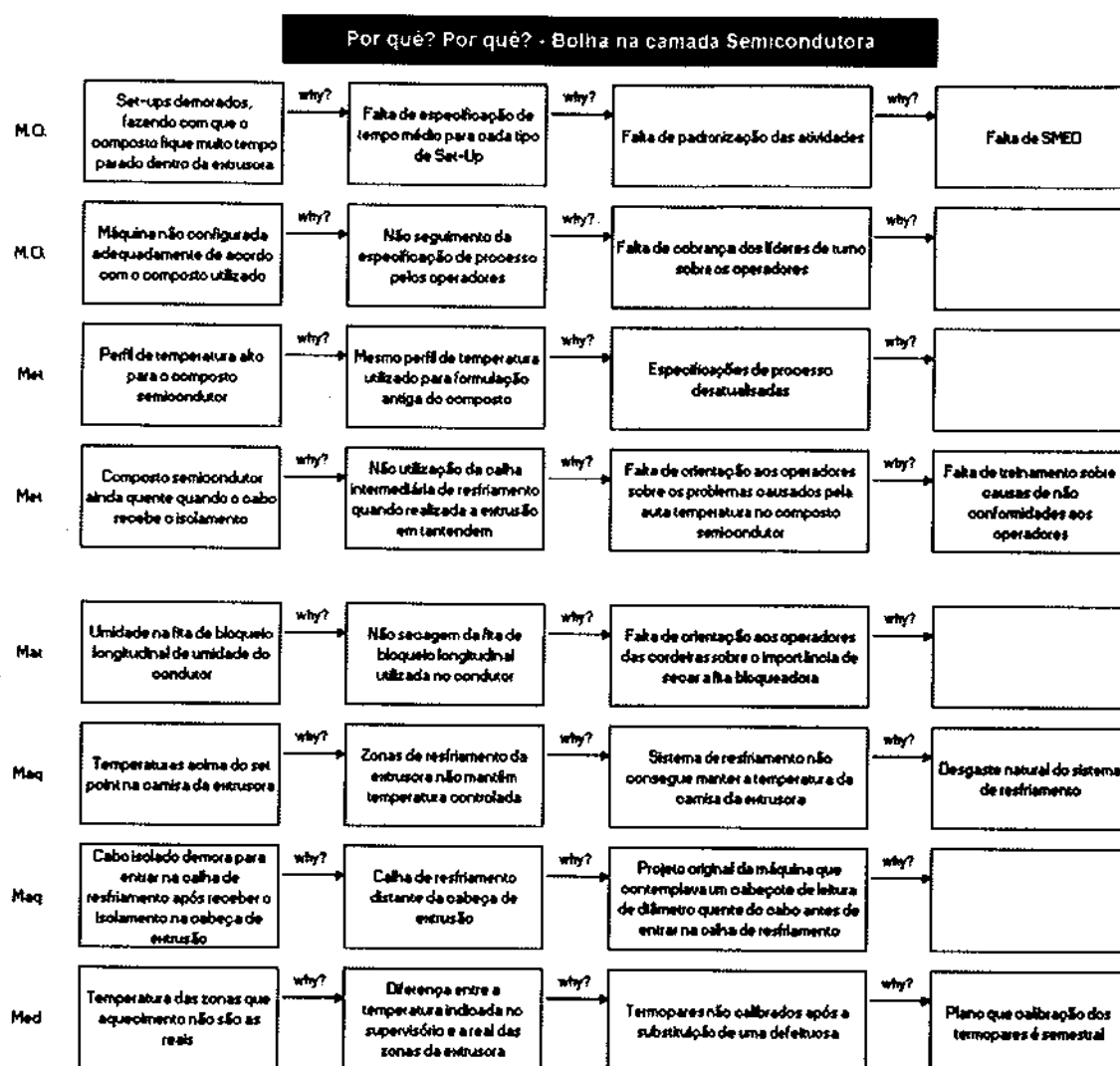


Figura 42 Por Quê? Por Quê? Bolhas na Semicondutora

Fonte: Autoria Própria

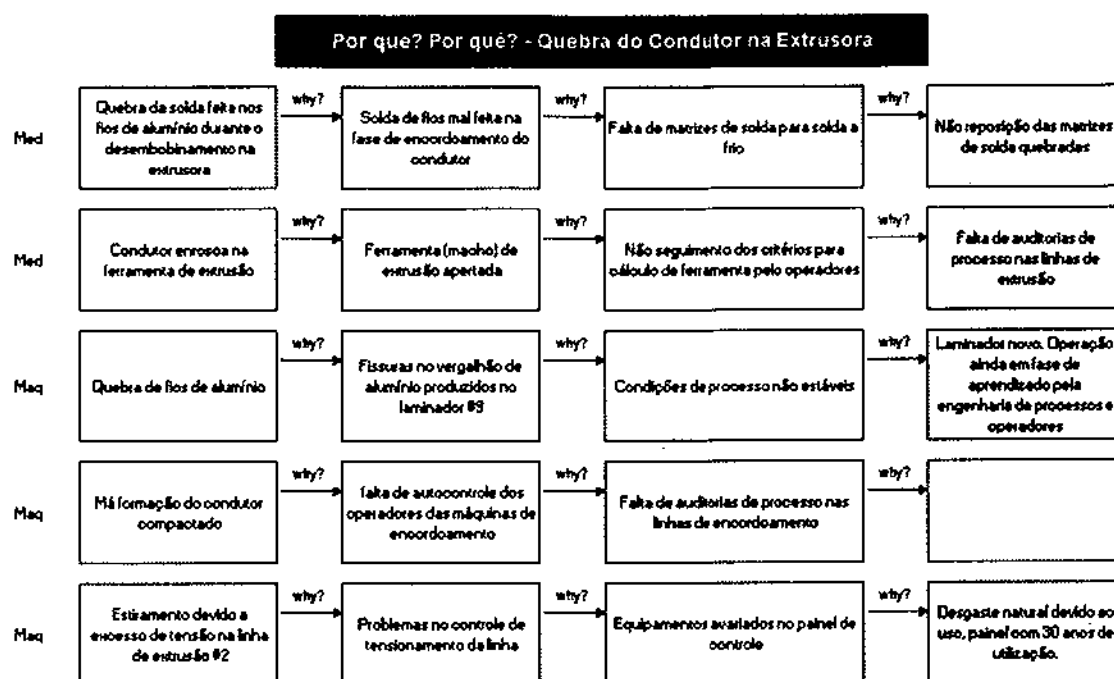


Figura 43 – Por Quê? Por Quê? Quebra do Condutor na Extrusora

Fonte: Autoria Própria

Identificadas as fontes causadoras das não conformidades, é elaborado o plano de ação para atacar o problema e minimizar ou eliminar a chance de novas ocorrências. Para gerenciar as atividades e garantir suas realizações, foi adotado a ferramenta 5W 2H.

Plano de Ação 5W 1H

	WHAT	WHY	WHERE	WHO	WHEN	HOW	HOW MUCH		
Nº	Fator	Causa Fundamental	Ação	Justificativa	Local	Responsável	Prazo	Como Fazer	Quanto
1	Set-ups demorados, fazendo com que o composto fique muito tempo parado dentro da extrusora	Falta de SMED	Realizar SMED nas extrusoras #1, #2 e #5	Reduzir os tempos preparação da máquina	Extrusoras #1, #2 e #5	Gustavo Scassiotti	01/09/12	Definir a melhor sequência das atividades, separar as atividades que podem ser realizadas com a máquina produzindo e padronizar as atividades com todos os operadores.	R\$ 0,00

2	Máquina não configurada adequadamente de acordo com o composto utilizado	Falta de cobrança dos líderes de turno sobre os operadores	Reunir com os líderes de turno para reforçar a importância do segmento das especificações de processo e sanar dúvidas	Garantir que os cabos sejam isolados conforme especificação de processo.	Sala de reuniões	Gustavo Scassiotti	21/08/12	Marcar reunião com os líderes de turno para mostrar os indicadores de não conformidades e falar sobre as especificações de processo	R\$ 0,00
3	Perfil de temperatura alto para o composto semiconductor	Especificações de processo desatualizadas	Atualizar especificações de processo	Para que os polímeros sejam processados com temperaturas que garantam a qualidade do produto	Sala Engenharia	Gustavo Scassiotti	20/08/12	Atualizar especificações de processo de acordo com recomendações do fabricante da matéria prima e testes realizados nas extrusoras	R\$ 0,00
4	Composto semiconductor ainda quente quando o cabo recebe o isolamento	Falta de treinamento sobre causas de não conformidades aos operadores	Treinamento aos operadores sobre causas de não conformidades	Reduzir as não conformidades por falta de informação e desatenção dos operadores	Sala de Treinamentos	Gustavo Scassiotti	05/10/12	Realizar treinamentos de não conformidade aos operadores abordando temas de boas práticas para o isolamento de cabos elétricos	R\$ 0,00
5	Umidade na fita de bloqueio longitudinal de umidade do condutor	Falta de orientação aos operadores das cordeiras sobre o importância de secar a fita bloqueadora	Orientar os operadores das máquinas de encordoamento sobre a necessidade de secagem da fita bloqueadora de umidade	Para que a umidade presente nas fitas não evapore com o calor do isolamento e cause inchamento do plástico	Cordeiras	Daniel Pereira	20/09/12	Realizar lição ponto com os operadores das cordeiras sobre secagem das fitas de bloqueio de umidade	R\$ 0,00
6	Temperaturas acima do set point na camisa da extrusora	Sistema de resfriamento sujo, não permitindo boa circulação de ar	Limpeza do sistema de resfriamento da camisa das extrusoras	Para que a temperatura dentro da extrusora fique com temperatura controlada, não queimando o composto dentro dela	Todas as Extrusoras	Rodrigo Sousa	17/09/12	Incluir como item a ser realizado na parada para manutenção preventiva	R\$ 0,00
7	Cabo isolado demora para entrar na calha de resfriamento após receber o isolamento na cabeça de extrusão	Projeto original da máquina que contemplava um cabeçote de leitura de diâmetro quente do cabo antes de entrar na calha de resfriamento	Prolongar primeira calha de resfriamento da extrusora #5 para iniciar a 30 centímetros da cabeça de extrusão	Iniciar resfriamento do cabo isolado mais rapidamente	Extrusora #5	Carlos Beraldo	01/10/12	Contratar serviço terceirizado para confeccionar e instalar prolongamento da calha de resfriamento	R\$ 3.000,00
8	Temperatura das zonas que aquecimento não são as reais	Plano que calibração dos termopares é semestral	Calibrar os termopares assim que forem substituídos	Para que a temperatura controlada pelo PLC seja real, evitando superaquecimento do composto dentro da extrusora	Todas as Extrusoras	Rubens Novaes	01/09/12	Calibrar os termopares substituídos seguindo o procedimento de calibração	R\$ 0,00

9	Quebra da solda feita nos fios de alumínio durante o desbobinamento na extrusora	Não reposição das matrizes de solda quebradas	Comprar matrizes de solda novas para repor as que faltam e substituir as com defeito	Para que a solda dos fios de alumínio fique mais resistente, diminuindo assim o índice de quebra de solda	Célula de Metais/ Transformação	André Domingos	12/10/12	Orçar e comprar matrizes de solda novas	R\$ 9.000,00
10	Condutor enrosca na ferramenta de extrusão	Falta de auditorias de processo nas linhas de extrusão	Auditar as linhas de extrusão	Garantir que os operadores estejam seguindo os procedimentos operacionais	Todas as Extrusoras	Davi Theodoro	01/09/12	Acompanhar linhas de extrusão para verificar se os operadores estão seguindo os procedimentos operacionais	R\$ 0,00
11	Quebra de fios de alumínio	Laminador novo. Operação ainda em fase de aprendizado pela engenharia de processos e operadores	Melhorar as condições do vergalhão de alumínio	Reduzir o índice que quebra dos fios de alumínio devido a qualidade do vergalhão	Laminador #9	Luís Co'ombo	10/09/12	Fazer benchmarking com outras unidades da empresa que possuem o mesmo modelo de laminador para verificar parâmetros de processo utilizados	R\$ 0,00
12	Má formação do condutor compactado	Falta de auditorias de processo nas linhas de encordoamento	Auditar as linhas de encordoamento dos condutores de alumínio	Para garantir que atenção dos operadores na formação dos condutores de alumínio	Cordeiras	Daniel Pereira	01/09/12	Acompanhar as linhas de encordoamento para garantir que os operadores estejam seguindo os procedimentos operacionais	R\$ 0,00
13	Estiramento devido a excesso de tensão na linha de extrusão #2	Desgaste natural devido ao uso, painel com 30 anos de utilização.	Substituição do painel de comando da extrusora #2	Melhorar a confiabilidade da máquina	Extrusora #2	Ricardo Prado	01/03/13	Contratar empresa terceirizada para projeto e montagem de um novo painel de comando para a extrusora #2	R\$ 200.000,00

Quadro 1 - Plano de Ação 5W 2 H

Fonte: Autoria Própria

4. Discussão dos Resultados

RESULTADOS

A aplicação da metodologia PDCA, resultou em boa redução das ocorrências de não conformidades. O período analisado após a aplicação do PDCA foi de 30 de novembro de 2012 a 25 de dezembro de 2012. Neste período foi registrado o total de 207 não conformidades na Empresa X, sendo que destas, 151 não conformidades foram geradas no processo de extrusão ou por equipamentos e pessoas envolvidas nesta atividade.

Comparando o número de não conformidades geradas com as ocorrências registradas antes do PDCA, nota-se uma redução de 43% nas não conformidades. Porém, esse número não reflete corretamente o resultado obtido pelo trabalho, uma vez que os períodos comparados não possuem a mesma quantidade de dias (39 dias na análise inicial e 26 dias na análise dos resultados). Para verificar se o trabalho realmente foi efetivo, faz-se necessário comparar o número de não conformidades com a quantidade de cabos produzidos em conformidade.

Durante o mesmo período, de 30 de novembro de 2012 a 25 de dezembro de 2012, foram transferidas 1950 toneladas de material isolado conforme, aonde chegou-se ao valor de 12,9 toneladas de material conforme para cada não conformidade gerada. Comparando com o valor encontrado inicialmente, 8 ton/NC, com os valores obtidos após a aplicação do método PDCA, constata-se que o trabalho trouxe aumento de 61% de cabos isolados conforme para cada não conformidade gerada. O que, conseqüentemente, representa redução de não conformidades em relação à quantidade de cabos produzidos.

O Gráfico 12 mostra como foi a distribuição das não conformidades por tipo de ocorrência.

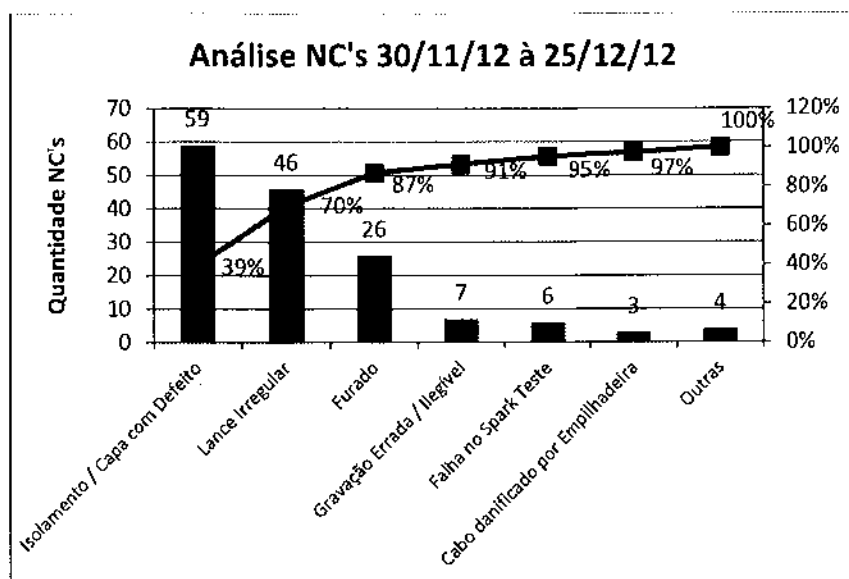


Gráfico 12 – Não Conformidades após PDCA

Observando o gráfico, é possível ver que a sequência das não conformidades por quantidade de ocorrências se manteve a mesma. Porém, o número de ocorrências reduziu consideravelmente. Das duas não conformidades identificadas pelo gráfico de Pareto (Gráfico 2 – Pareto Não Conformidades) como 77% das ocorrências, e por isso selecionadas para desdobramento da análise (80-20), a não conformidade de Isolamento/Capa com Defeito reduziu de 112 ocorrências para 59. Isso representa redução de 19 ton/ocorrência para 33 ton/ocorrência de material aprovado pelo CQ. Já a não conformidade de Lance Irregular reduziu de 22,9 ton/ocorrência para 42,4 ton/ocorrência.

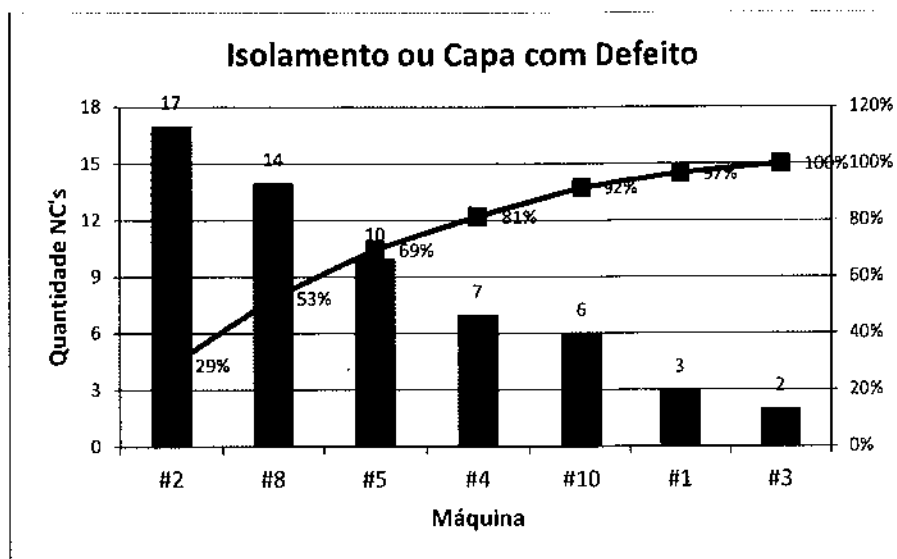


Gráfico 13 – Isolamento/Capa com Defeito após PDCA

Quanto às não conformidades de isolamento/capa com defeito, a extrusora #2 se manteve como o índice elevado, passando de segunda maior geradora no início do trabalho, para maior geradora. No entanto, a quantidade de ocorrências nesta máquina se manteve praticamente a mesma (de 20 para 17 NC), o que mostra evolução das outras extrusoras com o trabalho realizado. As extrusoras #5 e #1 foram as máquinas que obtiveram melhor resultado, reduzindo as NC de isolamento/capa com defeito de 37 e 18, respectivamente, para 10 e 3. Redução de 73% para a extrusora #5 e 83% para a extrusora #1, comprovando que as ações geradas para essas máquinas foram mais efetivas que as ações para a extrusora #2.

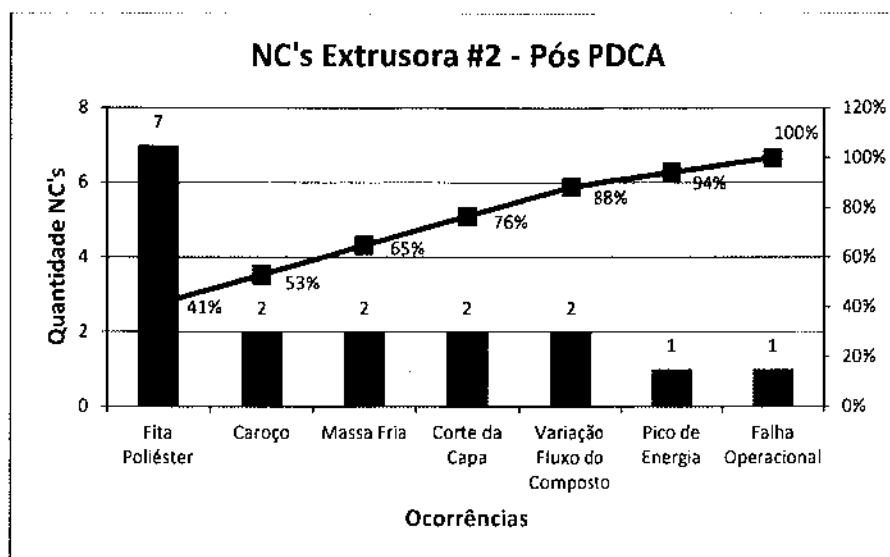


Gráfico 14 - NC's #2 - Pós PDCA

Desdobrando novamente as informações da extrusora #2, identifica-se que o maior problema desta máquina ainda é o causado pela fita de poliéster aplicada sobre os fios de blindagem dos cabos. Com isso constata-se que as ações criadas para atuar sobre este fator não surtiram o efeito esperado, sendo necessário avaliar novamente o que pode ser feito e gerar novas ações para a próxima rodada do ciclo PDCA. Como a aplicação desta fita não é feita nesta máquina, esta informação mostra que é preciso atuar na fase anterior do processo, fase de blindagem, para melhorar a aplicação da fita de poliéster.

Os Gráficos 15 e 16 comprovam a eficácia das ações #5 e #1, respectivamente, onde se vê que os problemas identificados inicialmente reduziram significativamente.

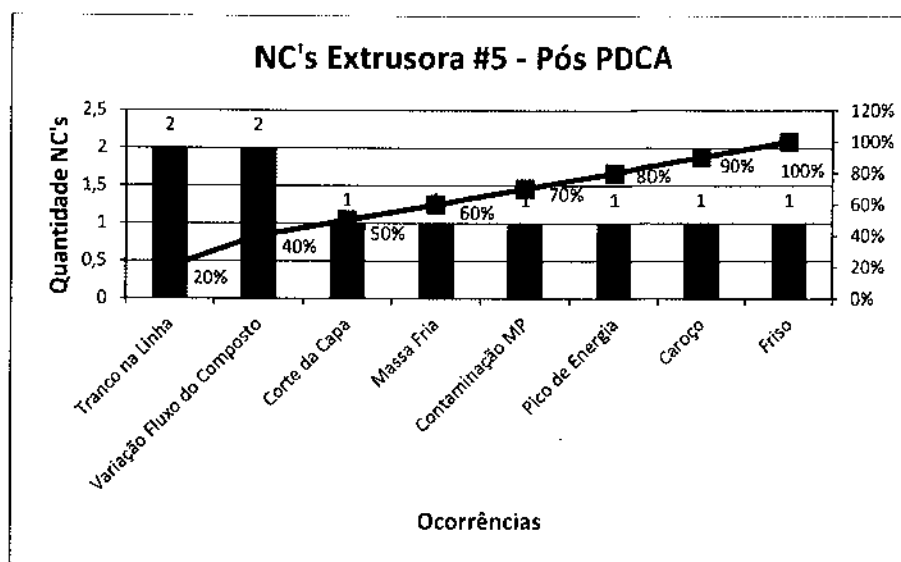


Gráfico 15 - NC's #5 - Pós PDCA

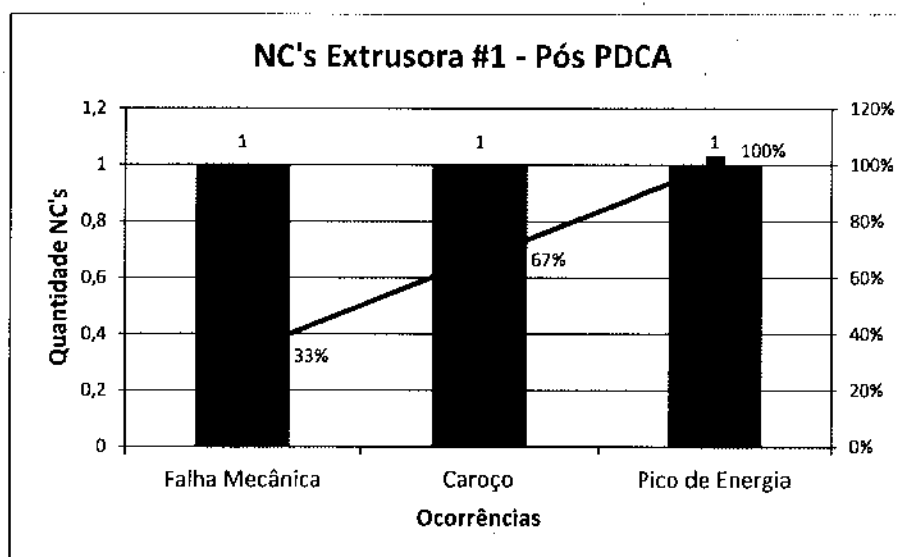


Gráfico 16 - - NC's #1 - Pós PDCA

Em relação às não conformidades de lance irregular, a extrusora #1 que era a mais incidente, teve redução de 80% nas ocorrências, deixando de estar entre as 3 primeiras em NC's geradas por este fator. As extrusoras #5 e #2 se mantiveram nas mesmas posições, porém, com boa redução nas quantidades (de 19 e 17, respectivamente, para 7 e 5). O Gráfico 17 mostra como foi a distribuição deste tipo de ocorrência por entre as máquinas.

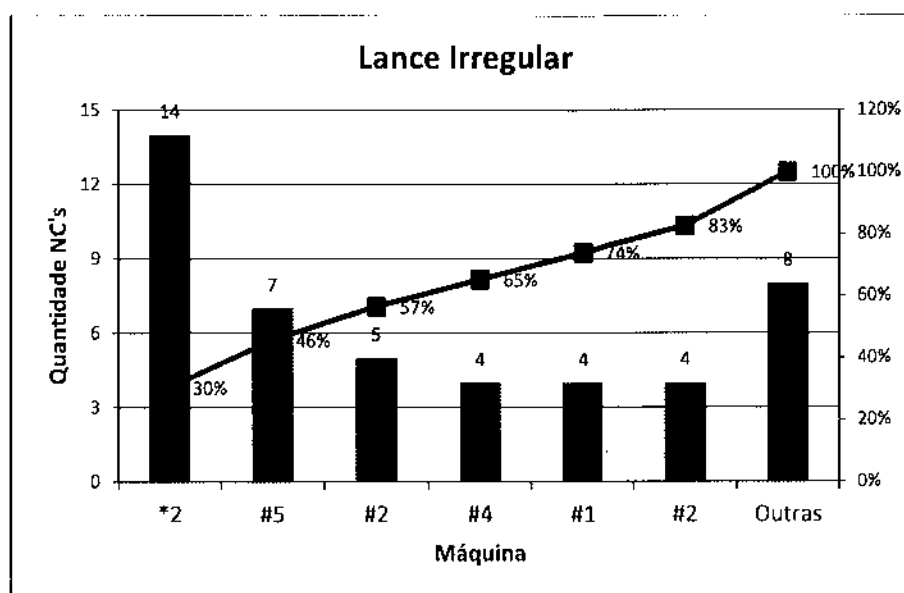


Gráfico 17 – Lance Irregular após PDCA

O Gráfico 17 mostra que a máquina com maior incidência de lances irregulares é a reunidora *2. Como a função desta máquina é apenas reunir cabos isolados enviados das extrusoras e não transformar matéria prima em produto, fica claro que o problema está nos cabos enviados a ela para serem reunidos. Em uma análise preliminar, evidenciou-se que o maior problema desta máquina é devido ao condutor de neutro do cabo multiplexado acabar antes de completar a metragem do lance indicado na ordem de produção, sendo 75% dos motivos. Como esta máquina não havia sido contemplada no plano de ações inicial, ficam pendentes ações para solucionar essa falha no próximo ciclo do PDCA.

Analisando as informações sobre os lances irregulares das extrusoras #1, #2 e #5, assim como feito inicialmente, 100% das ocorrências são de lances curto. Como se vê a estratificação destas ocorrências no Gráfico 18, as não conformidades geradas por quebra do condutor reduziram de 16 para 3, o que mostra o bom resultado obtido nos acertos dos parâmetros de processo do laminador @2, melhorando a qualidade do vergalhão de alumínio. No mesmo gráfico nota-se, também, que através do trabalho de conscientização dos operadores quanto a importância na divisão dos lances conforme ordem de produção, nenhum lance maior que o pedido foi enviado à próxima fase, e a melhora nas informações

contidas na etiqueta da bobina, reduzindo de 13 para 3 as não conformidades causadas por este motivo.

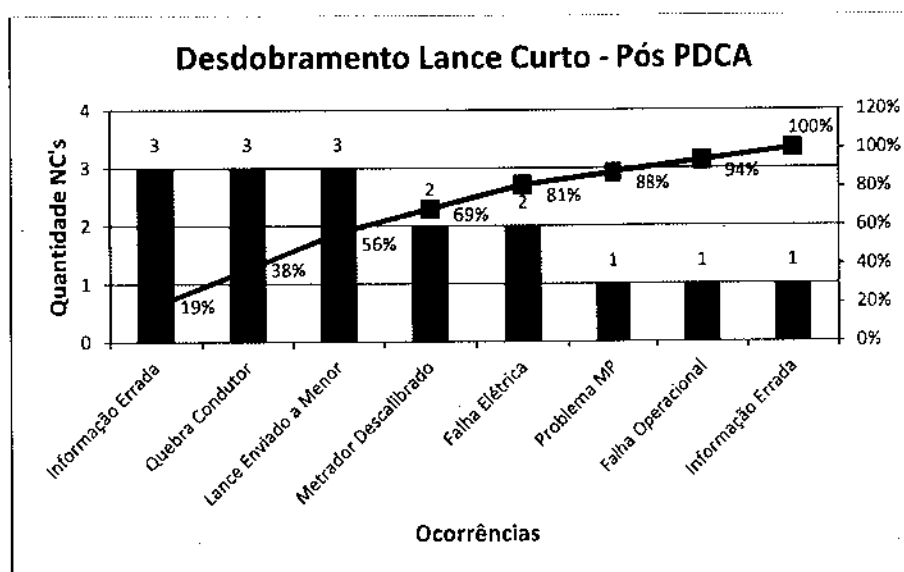


Gráfico 18 - Desdobramento Lance Curto - Pós PDCA

Assim como evidenciado no Gráfico 17 ao identificar a reunidora *2 como maior geradora dos lances irregulares, o Gráfico 19 confirma que o problema continua na linha de cabos multiplexados. Os problemas não são apenas os causados pelo término do condutor de neutro, como identificado nas informações da reunidora *2, melhorias em outras fases do processo existem e serão tratadas nos próximos ciclos da metodologia.

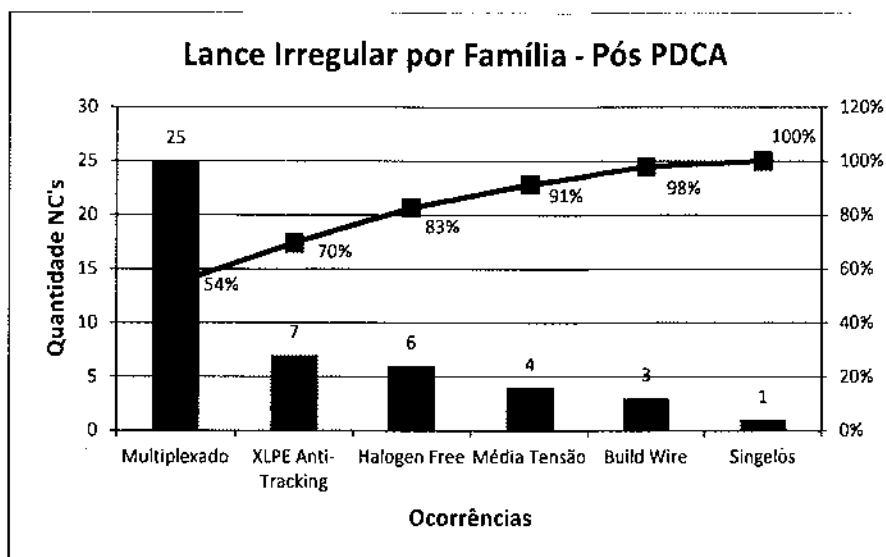


Gráfico 19 - Lance Irregular por Família - Pós PDCA

Embora o PDCA já tenha obtido bons resultados até o momento, as oportunidades de melhorias ainda são grandes na Empresa X. Visando a eficiência da produção e a lucratividade da empresa, novos ciclos do PDCA serão iniciados para que estas oportunidades sejam trabalhadas e a melhoria contínua sobre as não conformidades seja uma realidade dentro da empresa.

5. Conclusões

Em muitas situações, empresas buscam aumentar seus lucros trazendo mais investimento para o chão de fábrica, porém, o retorno nem sempre é o esperado. Muitas vezes a eliminação de desperdícios e o aproveitamento das oportunidades internas traz mais retorno do que investimentos externos. Saber onde o desperdício está acontecendo e buscar soluções para tratá-lo é essencial para tornar uma empresa eficiente. Para tanto, o reconhecimento destas fontes são o primeiro passo, e as ferramentas de melhoria contínua são de grande valia para auxiliar na tratativa delas.

Das metodologias existentes, uma das mais difundidas é o ciclo PDCA. Quando bem aplicado, o ciclo PDCA é uma ferramenta bastante eficaz em seu propósito, possibilitando avaliar constantemente os resultados das ações tomadas e sempre levando aprendizado obtido com os resultados para os ciclos seguintes, tornando as ações cada vez mais efetivas.

Para que a aplicação do PDCA se torne eficiente, algumas técnicas e ferramentas podem ser utilizadas para a estruturação da metodologia. A fase de análise e priorização dos pontos a serem tratados podem ser feitas com a utilização do Diagrama de Pareto, ferramenta que através da priorização 80-20 direciona a estratificação das informações para os pontos que realmente são importantes.

Identificado os pontos importantes, os problemas precisam ser tratados com ações corretivas, que segundo definição da norma ISO9000, são atuações na origem do problema para minimizar a chance de nova ocorrência. Para que isso seja possível, é imprescindível identificar a causa raiz do problema e o Diagrama de Ishikawa, juntamente com a técnica do Por quê? Por Quê?, são duas ferramentas que auxiliam nessa análise através de questionamentos sobre o motivo da ocorrência.

Com as fontes geradoras do problema identificadas, criam-se ações para que se possa tratá-las. As ações geradas podem abranger todos fatores envolvidos no processo, desde que a intenção de sua criação seja mitigar a causa raiz. Devido às grandes quantidades de ações criadas, e às vezes muitos responsáveis por fazê-las

cumprir, técnicas de gerenciamento auxiliam o controle e andamento das atividades, listando todas as informações referentes à cada uma.

Devido à complexidade do processo de extrusão de polímeros em cabos elétricos, e ao grande número de variáveis de processo, a dedicação e comprometimento de todos os envolvidos neste processo de melhoria foi de suma importância para que os resultados pudessem ser atingidos. O bom resultado obtido na aplicação do PDCA para minimizar as não conformidades da Empresa X comprova a eficácia da metodologia. Aplicando a metodologia, reduziram-se as não conformidades no isolamento de cabos elétricos de 265 para 151 ocorrências, e com isso obteve-se um aumento de 61% na quantidade de material produzido bom em relação a cada não conformidade gerada, passando de 8 toneladas/NC para 12,9 toneladas/NC. Essa melhora foi obtida até o período escolhido para comparação dos resultados, no entanto, o PDCA continua girando dentro da empresa e trazendo melhores resultados.

Referências

ANDRADE, Fábio Felipe. **O método de melhorias PDCA**. 2003. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Área de Concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO9000 – Sistema de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR5471 – Condutores Elétricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AZAMBUJA, Telmo Travassos. **Listagem, Priorização, Análise de Causas e Plano de Ação para a Solução de Problemas**. Rio de Janeiro: Management Consulting Group, 2005.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-A-Dia**. Nova Lima: INDG Tecnologia Serviço Ltda., 2004.

Ciclo PDCA (Ciclo de Deming). Desenvolvido por Ulisses Maeda em 16 Mar 2011. Disponível em <http://maeda.eng.br/wordpress/2011/03/ciclo-pdca-ciclo-de-deming/>. Acesso em: 07 Jan 2013.

Extrusão. Desenvolvido por IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Aula%205%20extrusao.pdf>. Acesso em: 7 set. 2012.

Extrusão. Desenvolvido por Web Service Empresarial. Disponível em <http://webserviceempresarial.blogspot.com.br/p/extrusao.html>. Acesso: em 30 Jan 2013.

Extrusão a quente e extrusão a frio, quais as diferenças. Desenvolvido por Renata Branco em 16 out. 2010. Disponível em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3060-diferencas-entre-extrusao-a-quente-e-extrusao-a-frio/>. Acesso em: 7 set. 2012

Extrusion Application. Desenvolvido por DuPont. Disponível em: http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/assets/downloads/processing/extru_an.pdf. Acesso em: 7 set. 2012.

Extrusion Process. Desenvolvido por Rockwell International Corporation. Publicação D-7741. USA: Março 2000. Disponível em: <http://www.reliance.com/prodserv/standriv/appnotes/d7741.pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

LEONEL, Paulo Henrique. **Aplicação prática da técnica do PDCA e das ferramentas da Qualidade no gerenciamento de processos industriais para melhoria e manutenção de resultados.** 2008, 85f. Monografia (graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2008.

ISO 9001 – Saiba Mais! Desenvolvido por Associação Comercial e Industrial de Marília. Marília – SP. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABNRMAA/iso-9001-gestao-qualidade>. Acesso em: 22 Jan 2013.

MAGUIRE. The 1800 Series weigh scale blenders. 2012. Disponível em: <http://www.maguire.com/product.php/287.htm>. Acesso em: 01 Dez 2012.

Manual de Ferramentas da Qualidade. Desenvolvido por SEBRAE em 2005. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/FerramentasDaQualidadeSEBRAE.pdf>. Acesso em: 08 Jan 2013.

Método de Análise e Solução de Problemas. Programa de Qualidade USP - 2006. Desenvolvido por Jésus L. Gomes em 2006. Disponível em: http://qualidade.ifsc.usp.br/arquivos/MASP_USP.pdf. Acesso em 07: Jan 2013.

ORIBE, Claudemir Y. **PDCA: origem, conceitos e variantes dessa ideia de 70 anos.** Disponível em: <http://www.ubq.org.br/conteudos/detalhes.aspx?IdConteudo=399>. Acesso em: 27 ago. 2012.

Os Polímeros. Desenvolvido por Explicatorium. Disponível em <http://www.explicatorium.com/quimica/Polimeros.php>. Acesso em: 25 Dez 2012.

PALMEIRA, Alexandre Alvarenga. **Processos de Fabricação.** Resende - RJ: UERJ, 2005.

Polímeros. Desenvolvido por Wagner Xavier Rocha em 1999. Disponível em <http://www.reocities.com/Vienna/choir/9201/polimeros.htm>. Acesso em: 25 Dez 2012.

Processos de Fabricação. Desenvolvido por Treinamento Fbts. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/52358864/40/Tipos-de-Extrusao>. Acesso em 7 set 2012.

RAUWENDAAL, Chris. **Polymer Extrusion.** 4th.ed. Munique – Alemanha: Hanser Gardner Publication, 2001.

Resistência Química dos Fluoropolímeros. Desenvolvido por Zeus Industrial Products. Disponível em <http://www.coleparmer.ca/TechLibraryArticle/828>. Acesso em: 25 Dez 2012.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a Qualidade.** São Cristóvão - RJ: Qualitymark, 2006.

SILVA, Pedro Hermano Santos. **Gestão do Conhecimento: Transformando Conhecimento Tácito em Explícito num Empresa de Call Center.** Faculdade Visconde do Cairu, 29 dez 2010. Disponível em <http://www.exige.com.br/gestaoconhecimento.htm>. Acesso em: 25 Jan 2013.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** São Paulo: Editora Atlas, 2009.

