

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

INAPAL PLÁSTICOS S.A.

Melhoria da Qualidade através de Sistemas *Poka-Yoke*

Lúcio José Martins Nogueira

Orientadora FEUP - Professora Doutora Laura Ribeiro

Orientador Inapal Plásticos S.A. - Eng. António Dionísio

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Laura Ribeiro por todo o interesse, dedicação e paciência da sua parte durante todo o activo acompanhamento que prestou a este trabalho. Quero agradecer também ao Professor Vitor Augusto pelo apoio prestado.

Agradeço à Inapal Plásticos S.A. na qualidade de empresa que possibilitou a concretização deste trabalho. Agradeço ao Eng.º António Dionísio, ao Eng.º Paulo Lima, Eng.º Miguel Romualdo e ao Sr. Fernando Matos a orientação, o acompanhamento e a disponibilidade, dedicados na realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, que sempre me ajudou e apoiou. A todos os meus amigos e colegas pela moral dada.

Obrigado!

RESUMO

Esta tese foi realizada após um trabalho de Seminário sobre o tema: “Melhoria Contínua de Processos de Fabrico”. Este trabalho incluiu uma pesquisa bibliográfica sobre a garantia da qualidade de processos de fabrico, fundamental para a aquisição dos conhecimentos teóricos necessários para por em prática um projecto na área dos dispositivos à prova de erro (*Poka-Yoke*).

O trabalho de Mestrado foi desenvolvido em cooperação com a Inapal Plásticos S.A., o que permitiu um contacto directo com processos e equipamentos de fabrico num ambiente de trabalho industrial. É de salientar que a Inapal Plásticos, através dos seus profissionais, disponibilizou toda a informação que sustenta este trabalho agora apresentado.

O tema desta tese: aplicação de dispositivos à prova de erro, tem crescido significativamente nas empresas, principalmente naquelas que seguem a filosofia dos Zero Defeitos ou com programas específicos de melhoria de processos de fabrico. No caso da empresa envolvida este projecto constituiu o primeiro caso e, atendendo aos resultados obtidos, espera-se a sua replicação noutros processos.

Este trabalho está dividido em três capítulos. No primeiro apresentam-se os princípios do *Poka-Yoke*, a sua aplicação no contexto na filosofia ZQC e a metodologia, incluindo exemplos práticos e principais passos da sua implementação. O segundo capítulo incide na apresentação da empresa e na metodologia de trabalho utilizada, incluindo as soluções desenvolvidas e os resultados da validação de um sistema *Poka-Yoke* implementado. Por último, são apresentadas as conclusões referentes ao trabalho realizado.

Palavras chave: Melhoria Contínua de Processos, Zero Defeitos, *Poka-Yoke*.

ABSTRACT

This thesis was made after a working seminar on the theme: “Continuous Improvement of Manufacturing Process”. This included a literature search on quality assurance of manufacturing processes, essential for the acquisition of the theoretical knowledge required to implement a project in the area of the devices error-proof (*Poka-Yoke*).

The project of master’s degree was developed in cooperation with Inapal Plásticos SA, which allowed direct contact with processes and equipment manufacturing in the industrial environment. It should be noted that Inapal Plásticos, through its professionals, provided all the information that drives this work now presented.

The theme of this thesis: application of error-proof devices, has grown significantly in enterprises, especially those who follow the Zero Defects philosophy or with specific programs to improve manufacturing processes. For the company involved in this project this was the first case and, given the results obtained, its replication is expected in other cases.

This work is divided into three chapters. The first presents the principles of *Poka-Yoke*, its application in the context of ZQC philosophy and methodology, including practical examples and key steps of its implementation. The second chapter deals with the company presentation and methodology of work used, including solutions developed and the results of the validation of an implemented *Poka-Yoke* system. Finally, conclusions are drawn regarding the project.

Keywords: Continuous Improvement Process, Zero Defects, *Poka-Yoke*.

ÍNDICE

Resumo.....	i
Abstract	ii
Capítulo I – Introdução.....	1
1.1. A filosofia <i>Zero Quality Control</i> (ZQC) e o conceito <i>Poka-Yoke</i>	5
1.2. Sistemas à prova de erro - <i>Poka-Yoke</i>	7
1.2.1. Classificação dos sistemas <i>Poka-Yoke</i>	13
1.2.2. Regras para a implementação de sistemas <i>Poka-Yoke</i>	16
1.2.3. Implementação de sistema <i>Poka-Yoke</i>	17
Capítulo II – Aplicação do <i>Poka-Yoke</i> na empresa Inapal Plásticos	22
2.1. Apresentação da empresa	22
2.2. Processo de fabrico.....	24
2.3. Motivação para o estudo e objectivos	26
2.4. Metodologia utilizada.....	27
2.5. Caracterização do processo de fabrico	27
2.6. Análise do processo de fabrico de painéis superiores de ar condicionado	31
2.6.1. Caracterização e quantificação de defeitos.....	31
2.7. Identificação de falhas e respectivas causas	36
2.8. Desenvolvimento de soluções anti-erro.....	37
2.9. Aplicação e validação de um sistema <i>Poka-Yoke</i>	42
Capítulo III – Conclusões.....	44
Referências Bibliográficas	45

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, inúmeras mudanças sociais, políticas, económicas e tecnológicas têm ocorrido, obrigando à introdução de mudanças significativas nos sectores produtivos, de forma a melhorarem o desempenho e consequentemente aumentarem o seu grau de competitividade. Na realidade o cenário do início do século XXI tem apresentado desafios constantes às organizações, decorrentes da globalização, da concorrência, da legislação, das novas tecnologias, das exigências dos consumidores e da crise económica [1]. Refira-se a importância da qualidade que teve um crescimento extraordinário na sociedade, passando a exercer um papel relevante no relacionamento com os clientes e fornecedores, no desenvolvimento de produtos e nos processos de fabrico. Actualmente, não é admissível lançar no mercado produtos sem qualidade; mais, as empresas têm que trabalhar com um elevado padrão de qualidade se quiserem entrar num mercado competitivo. De facto, produzir produtos e serviços de elevada qualidade constitui um objectivo chave para garantir a competitividade nos mercados globais [2].

Para que as empresas possam sobreviver dentro deste novo contexto de mudança constante, é necessário desenvolver produtos melhores, mais baratos, mais seguros, de entrega mais rápida e de manutenção mais fácil que os da concorrência. Neste contexto, a inovação de produtos torna-se fundamental para a sobrevivência da empresa. Por outro lado os rápidos avanços tecnológicos, têm permitido o desenvolvimento de produtos com maior qualidade e a preços adequados aos seus consumidores [3]. No entanto, a probabilidade de as empresas sobreviverem e prosperarem é afectada se não existir uma preocupação constante com a melhoria contínua dos seus processos, visando a redução de custos e desperdícios [3]. De facto, a diminuição do nível das falhas de qualidade e produção de produtos de alta qualidade não resultam das actividades de inspecção mas fundamentalmente das actividades de melhoria dos processos, tornando-os mais eficazes, mais simples, com menos não-conformidades e mais seguros. Juran [2] reforça esta ideia quando defende que a qualidade dos processos se baseia na inter-relação de três actividades fundamentais (normalmente conhecida por “Triologia de Juran”):

- planeamento da qualidade – consiste no desenvolvimento de produtos e processos necessários à satisfação das necessidades dos clientes;
- controlo da qualidade – consiste em avaliar a qualidade, compará-la com os objectivos e reduzir os desvios;

- melhoria da qualidade – consiste no aperfeiçoamento contínuo da qualidade;

As três actividades acima referidas estão inter-relacionadas como se pode analisar na figura 1. O nível de qualidade (e consequentemente os custos da não-qualidade) de um produto é determinado, por um lado, pelo projecto (*Quality Planning*) e pelo controlo realizado no fabrico (*Quality Control*), e por outro, pelas actividades de melhoria (*Quality Improvement*). Enquanto que o controlo da qualidade permite identificar a ocorrência de problemas esporádicos e consequentemente desencadear acções correctivas para a sua eliminação, restabelecendo a variação normal do processo, as actividades de melhoria visam reduzir os problemas crónicos, alcançando-se um nível de qualidade superior e, consequentemente, menores custos.

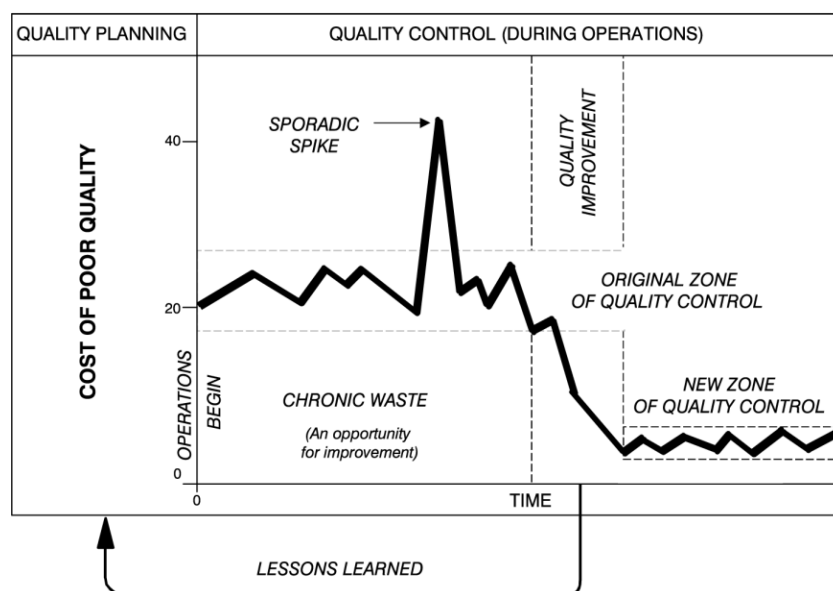


Figura 1 – Diagrama da “Triologia de Juran” [3].

A aplicação das actividades de melhoria da qualidade pode ser sistematizada com base no ciclo de melhoria apresentado por Deming (também designado ciclo PDCA – *Plan-Do-Check-Act*). Basicamente, Deming sustenta que depois de se lançar um produto, deve-se continuar a pesquisar, modificar e melhorar o projecto, produzir e vender novamente, num ciclo sem fim. Segundo Deming, um processo de melhoria deve seguir quatro passos essenciais:

- Planear os objectivos num dado período de tempo e estabelecer a metodologia para os alcançar;
- Executar as acções previstas no passo anterior e recolher dados para as analisar;

- Verificar os resultados obtidos e comparar com os objectivos pretendidos;
- Actuar em função dos resultados obtidos, implementando as mudanças necessárias para garantir a eficácia das acções e o alcance dos objectivos estabelecidos [2,16];

A melhoria da qualidade é, sem dúvida alguma, uma preocupação actual das empresas determinadas em melhorar o seu desempenho, garantindo assim maior competitividade no mercado em que operam. Existe um conjunto de ferramentas capazes de ajudar as empresas a concretizarem esse objectivo, designadamente ao nível da detecção e prevenção de falhas, durante o processo de desenvolvimento de produtos ou no processo produtivo [4]. Refira-se que as ferramentas de melhoria contínua que se aplicam nos processos de fabrico para reduzir as não-conformidades são igualmente eficazes nas funções não-produtivas, no entanto, nestas funções torna-se mais difícil definir e estabelecer os indicadores que permitem medir e monitorizar o desempenho [5].

É interessante verificar que nem sempre as empresas conseguem atingir os níveis de melhoria desejados. Segundo Moore [4] esta situação resulta das empresas não seleccionarem as ferramentas mais adequadas ao seu caso. Segundo o mesmo autor, devem-se considerar as seguintes questões de modo a garantir maior eficiência e eficácia na aplicação das ferramentas de melhoria:

- estabelecer as condições em que as ferramentas se tornam incompatíveis;
- analisar as vantagens e desvantagens de cada ferramenta;
- estabelecer as ferramentas que necessitam de outras para se maximizarem os resultados;
- definir as condições de aplicação de cada ferramenta;

O *Poka-Yoke* constitui uma ferramenta de melhoria de processos de fabrico baseado na detecção de erros. Inicialmente, foi considerado um dispositivo físico utilizado para impedir que os erros pudessem ocorrer. Hoje em dia, assume um significado muito mais abrangente, podendo ser definido como uma ferramenta anti-erro, uma técnica de controlo da qualidade ou uma filosofia da qualidade. O princípio básico comum a estas vertentes é a prevenção de erros [6].

O *Poka-Yoke* tem sido aplicado com sucesso em diversas actividades produtivas. Tsou e Chen [7] analisaram o custo de um sistema *Poka-Yoke* numa empresa fabricante de

componentes estampados para a indústria automóvel. Os resultados revelaram que o *Poka-Yoke* é uma ferramenta capaz de gerar um retorno satisfatório, mas que depende do valor do investimento realizado. Ou seja, existe um valor abaixo do qual a aplicação do *Poka-Yoke* torna-se vantajosa. Esse valor corresponde ao custo da não-qualidade.

Por sua vez, Pojasek [10] fez uma análise de sistemas *Poka-Yoke* e concluiu que os mesmos funcionam bem nas seguintes situações:

- rotina de uma sequência fixa de operações (que formam parte da cadeia de valor) com intervenção do operador;
- fabrico de varias referências;
- operações de fabrico com especificações claramente definidas;
- número de parâmetros do processo a controlar reduzido;
- controlo estatístico do processo difícil de implementar ou ineficaz;
- controlo de atributos qualitativos e não quantitativas;
- rotatividade de pessoal alta e custos de formação elevados;

O mesmo autor refere que os dispositivos *Poka-Yoke* não funcionam bem nas seguintes situações:

- processos com cadencia de produção muito elevada;
- processos com auto-controlo e cartas de controlo aplicadas eficazmente;
- processos com mudanças mais rápidas do que os dispositivos *Poka-Yoke*;

Para além das situações descritas anteriormente, o *Poka-Yoke* também não funciona quando a sua implementação se torna demasiado complexa. Segundo Shingo [8] algumas empresas atropelam o conceito *Poka-Yoke*, desenvolvendo sofisticados sistemas de detecção de erros que acabam por constituir novas etapas no processo, em vez de serem integrados nas operações já existentes. Não se deve esquecer que o verdadeiro *Poka-Yoke* é simples, óbvio, prático e, principalmente, barato [8].

1.1. A FILOSOFIA ZERO QUALITY CONTROL (ZQC) E O CONCEITO POKA-YOKE

A filosofia *Zero Quality Control*, desenvolvido por Shingo¹ [6] nos anos sessenta faz uso do controlo automático para evitar interrupções na linha de produção necessárias para realizar a inspecção dos produtos. A automatização permite identificar anomalias e, imediatamente, aplicar a acção correctiva, ou seja, a função de controlo é incorporada no processamento, permitindo uma detecção imediata e correcção dos problemas. Deste modo, evita-se o fabrico de produtos defeituosos [6].

O ZQC assenta no princípio de que o controlo deve ser efectuado sobre os erros responsáveis pelos defeitos (causas) e não sobre os defeitos, evitando-se, desta forma, produtos defeituosos. Para além do fabrico de produtos isentos de defeitos, o ZQC visa garantir a produção consistente de produtos conformes.

O ZQC deve ser aplicado nas operações e processos considerando todas as possibilidades de falha. É possível destacar quatro características fundamentais desta metodologia [6]:

1. reconhecimento de que os trabalhadores podem errar utilizando-se, por isso, dispositivos à prova de erro que efectuam a função de controlo durante a execução dos produtos;
2. utilização de inspecção na fonte, ou seja, as funções de controlo são aplicadas na etapa onde os defeitos são originados; desta forma, o controlo é aplicado na detecção de erros antes que eles se convertam em defeitos, eliminando-se os custos associados;
3. utilização de inspecção a 100%, ou seja, todos os itens produzidos são inspeccionados;
4. redução do tempo decorrido entre a detecção de uma anomalia e a aplicação da acção correctiva.

Shingo salienta que é possível conseguir os “zero defeitos” aplicando as características acima referidas na seguinte proporção: inspecção na fonte – 60%; inspecção a 100% - 30%; acção imediata – 10%

¹ Shingo foi provavelmente a personalidade que mais contribuiu para as práticas modernas de produção industrial. Ao aplicar a sua experiência e conhecimento no campo da engenharia industrial, proporcionou também um melhor ambiente de trabalho para operadores nas empresas de transformação [6].

Poka-Yoke é uma palavra japonesa que significa “prevenção de defeitos”. Surgiu no contexto da filosofia ZQC, tendo sido desenvolvido e implementado por Shingo, em 1961, na *Toyota Motor Corporation*.

Poka-Yoke também pode ser traduzido como “mecanismo à prova de falhas”, constituindo um recurso que indica ao operador o modo adequado para realizar uma determinada operação, ou seja, um mecanismo de detecção de erros que, integrado numa determinada operação de fabrico, impede a execução errada dessa operação, bloqueando as principais interferências (normalmente decorrentes de erros humanos) na execução da operação. Estes dispositivos caracterizam-se pelo facto de:

- serem utilizados num regime de inspecção a 100%;
- dispensarem a atenção permanente do operador relativamente ao produto que está a ser processado;
- reduzirem ou eliminarem defeitos através das acções correctivas imediatas;
- serem simples e de baixo investimento;

Os sistemas *Poka-Yoke* podem também apenas sinalizar, através de apitos, buzinas e sinais luminosos, a ocorrência de erros, sem parar a linha de produção mas indicando a necessidade de correcção [6,11].

Resumindo, um sistema *Poka-Yoke* evita que um erro seja cometido, ou faz com que um erro seja facilmente identificado. A possibilidade de detectar erros através de uma inspecção rápida é essencial, já que, segundo Shingo, a maioria dos defeitos são causados por erros inadvertidos. Portanto, os erros não se tornarão defeitos (desvios à especificação do produto que podem conduzir ao descontentamento do cliente) se forem identificados e eliminados com antecedência.

Shingo, salienta que os erros são inevitáveis porque os operadores são humanos e naturalmente erram (por falta de concentração, compreensão das instruções, ...). Pelo contrário os defeitos resultam de se permitir que um erro altere o produto, sendo assim inteiramente evitáveis.

A origem dos erros está relacionada com problemas técnicos, de gestão ou humanos. Shingo [8], classifica os erros dos operadores em três tipos:

- erros inadvertidos – são erros não intencionais resultantes da falta de atenção e que acontecem de forma aleatória; são intrínsecos à limitação humana, logo, não são afectados pelo nível de motivação; podem ser minimizados através da redução da

necessidade da atenção do operador, de melhorias nas condições de trabalho, designadamente, eliminação das fontes de distração, rotatividade de tarefas, períodos de descanso e finalmente através da utilização de dispositivos à prova de erros;

- erros de natureza técnica – estão relacionados com a falta de conhecimento, formação ou capacidade técnica para executar a operação correctamente; as soluções para estes erros envolvem basicamente, formação, alterações tecnológicas e melhorias do processo;
- erros intencionais – são erros que os operadores cometem de forma premeditada; normalmente resultam de problemas de relacionamento do operador com as chefias, com a empresa ou até mesmo com a sociedade; a solução para este tipo de erros é mais de natureza psicológica do que propriamente técnica;

1.1. SISTEMAS À PROVA DE ERRO - *POKA-YOKE*

Os sistemas *Poka-Yoke* podem executar três funções básicas na prevenção de defeitos: aviso, controlo e paragem. Segundo Shimbun [12] e Sissonen [1] estas funções são executadas em situações diferentes:

- o erro está para ocorrer – o *Poka-Yoke* avisa a ocorrência de uma anomalia;
- o erro já ocorreu mas não resultou em defeito – o *Poka-Yoke* controla;
- o erro causou um defeito – o *Poka-Yoke* pára o processo, impedindo o fluxo de defeituosos.

A figura 2 resume estas situações. A função de aviso é uma função menos poderosa comparativamente com as outras funções, exigindo atenção do operador. Os mecanismos típicos de aviso, luzes e sons, são aplicados em situações em que o impacto das anomalias é ligeiro ou os factores técnico-económicos tornam a aplicação de métodos de controlo muito difícil [1,12].

As funções de controlo e paragem são as mais eficazes para impedir erros e consequentemente defeitos. Quando um erro é detectado, a operação é interrompida, impedindo que os defeitos ocorram; esta é a metodologia típica da fabricação japonesa que determina aos operadores a parar imediatamente a linha quando os erros são detectados para serem corrigidos o mais rápido possível [1,12].

Assim sendo, existem sistemas com níveis de complexidade diferente. Por exemplo, Shingo [8], apresenta um sistema baseado num simples controlo visual. Neste exemplo o operador tem que montar um mecanismo com dois botões de pressão, nos quais existe uma mola que tem que ser inserida por baixo de cada botão e que, por vezes, é esquecida pelo operador, resultando não-conformidades. A metodologia *Poka-Yoke* implementada consistiu em colocar as duas molas num recipiente pequeno; depois da montagem feita, se ainda existir uma mola no recipiente, significa que ocorreu um erro. O custo da inspecção (olhar para o recipiente) é mínimo, mas resulta eficazmente.

Um outro exemplo mais complexo implementado na *General Motors* é descrito por Ricard (citado em [9]). O exemplo incide numa operação de soldadura de parafusos, os quais são alimentados automaticamente e sem acção do operador. Por vezes o parafuso não é alimentado. Para evitar esta falha, foi desenvolvido um sistema eléctrico acoplado ao eléctrodo no qual o parafuso é alojado, fechando o circuito. Se não houver parafuso o circuito eléctrico não fecha e a máquina pára.

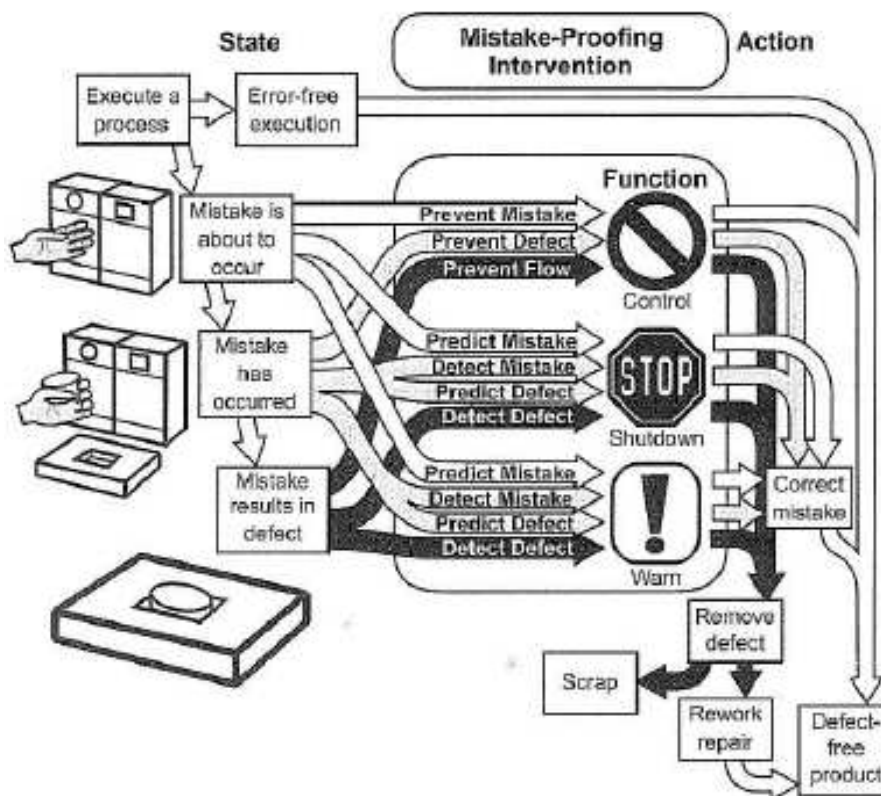


Figura 2 – Três situações possíveis de erro com três funções do *Poka-Yoke* [1].

Nas figuras de 3 a 13 apresentam-se alguns exemplos de dispositivos *Poka-Yoke* implementados com sucesso por várias empresas. Alguns detectam o problema e param a linha de produção para que a acção de correcção tenha lugar imediatamente; é o caso da paragem de uma linha de montagem quando um dos componentes se encontra em falta. Outros assinalam a ocorrência de um desvio através de avisos sonoros, luzes ou outros sistemas de aviso. Neste caso a linha de produção não pára mas o *Poka-Yoke* avisa o operador para remover o defeito da linha, ou fazer os ajustes necessários para manter o processo controlado [14].

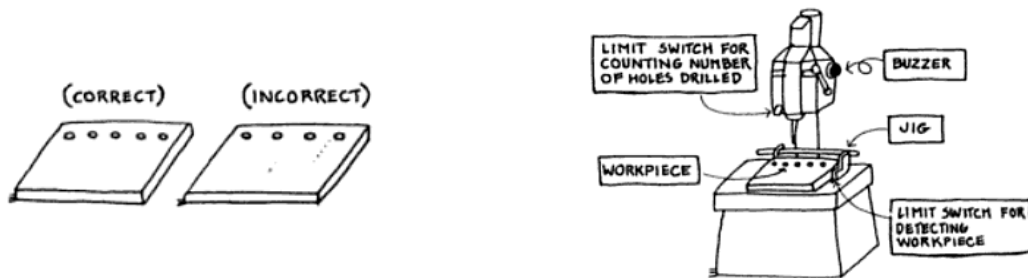


Figura 3 – O operador tem de executar um determinado número de furos. Às vezes o operador perde a contagem e faz mais ou menos furos. Foi montado um contador na parte lateral junto à broca de modo a contar o número de furos realizados. Outro sensor foi montado na base para detectar a peça. Uma campainha alerta quando a peça é removida antes do número correcto de furos ter sido realizado [12]. Este sistema anti-erro avisa o operador e controla o produto.



Figura 4 – As luzes de aviso (travão de mão, falta de óleo, bateria fraca, piscas de mudança de direcção, falta de combustível, temperatura do motor elevada, falta de água nos limpavidros, etc) alertam o condutor para potenciais problemas. Estes dispositivos constituem um método de aviso de problemas [13].



Figura 5 – Os fechos eléctricos dos automóveis têm três dispositivos à prova de erro: asseguram que nenhuma porta fica aberta alertando o condutor normalmente com um sinal luminoso; quando bem fechadas trancam as portas automaticamente após o carro atingir uma velocidade mínima de 10Km/h; não activam quando as portas estão abertas ou mal fechadas e o automóvel ligado mas parado [13]. Este sistema anti-erro avisa e controla.

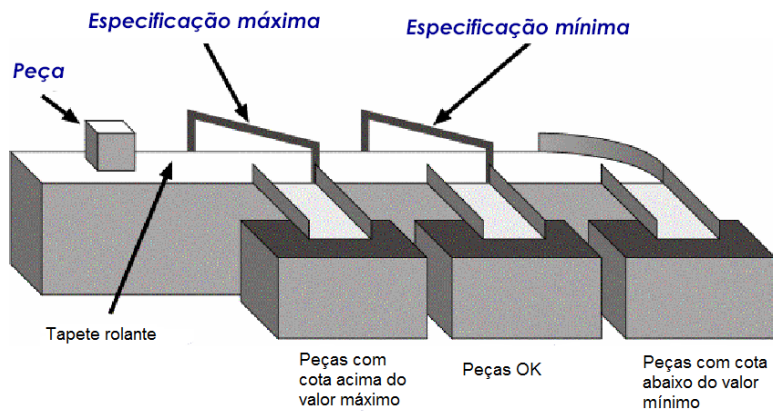
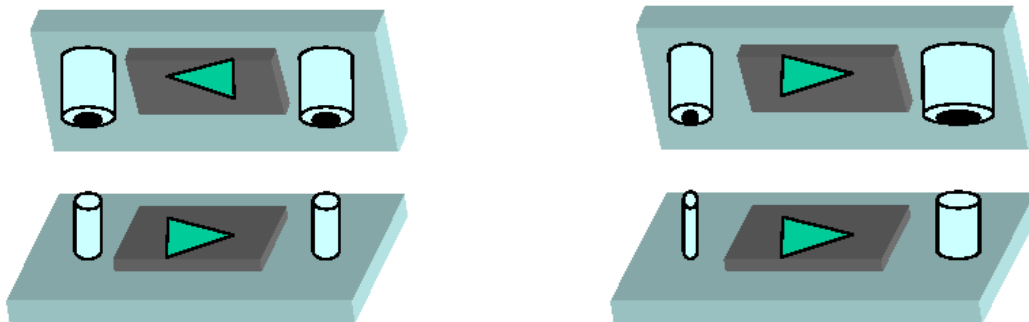


Figura 6 – As máquinas de cortar relva são obrigadas a ter uma barra (a branca na figura) de segurança que necessita de ser puxada para trás quando se quer pôr o motor a trabalhar. Se se largar a barra de segurança a lâmina de corte pára em três segundos [13].

Figura 7 – Neste caso pretende-se garantir que uma cota dimensional esteja compreendida entre um valor mínimo e um valor máximo especificados. São posicionados no tapete rolante dois batentes, o primeiro permite separar as peças com a cota acima do valor máximo e o segundo permite separar as peças com a cota abaixo do valor mínimo [12]. Trata-se de um sistema anti-erro que controla o produto.



(a) Caixa de moldação colocada de forma incorrecta.

(b) Caixa de moldação com o dispositivo *Poka-Yoke* aplicado.

Figura 8 – A meia caixa da moldação superior pode ser colocada de forma incorrecta (a), para que tal não aconteça, colocam-se pinos e casquilhos de diâmetros diferentes em cada um dos lados (b) [12]. É um sistema anti-erro que pára o processo.

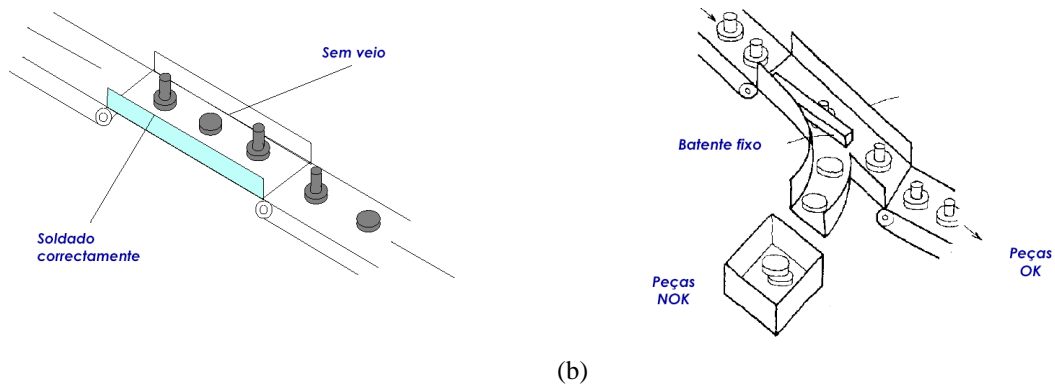


Figura 9 – Em (a) existem peças mal soldadas (sem veio). Em (b) implementou-se um batente para detectar peças sem veio, que são segregadas do fluxo de fabrico [12]. É um sistema anti-erro que controla o produto.

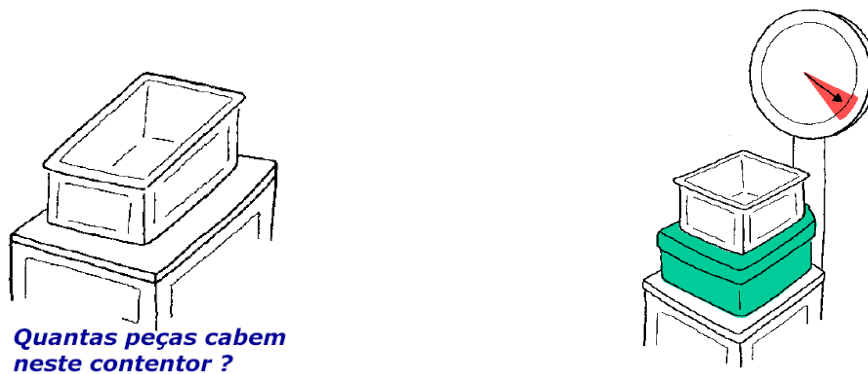


Figura 10 – Os contentores podem conter menos peças do que o número especificado. Passou a ser feito o abastecimento em cima de uma balança. No mostrador é visível o intervalo de variação permitido [12]. É um sistema anti-erro que controla o processo.



Figura 11 – Na biblioteca da Universidade *Southern Methodist*, foram criadas prateleiras deslizantes. O problema existente era alguém poder ficar preso no meio delas. Para que tal não acontecesse, o tapete passou a ter sensores que detectam a presença de pessoas, imobilizando as prateleiras [13]. Este sistema anti-erro é de controlo e paragem.

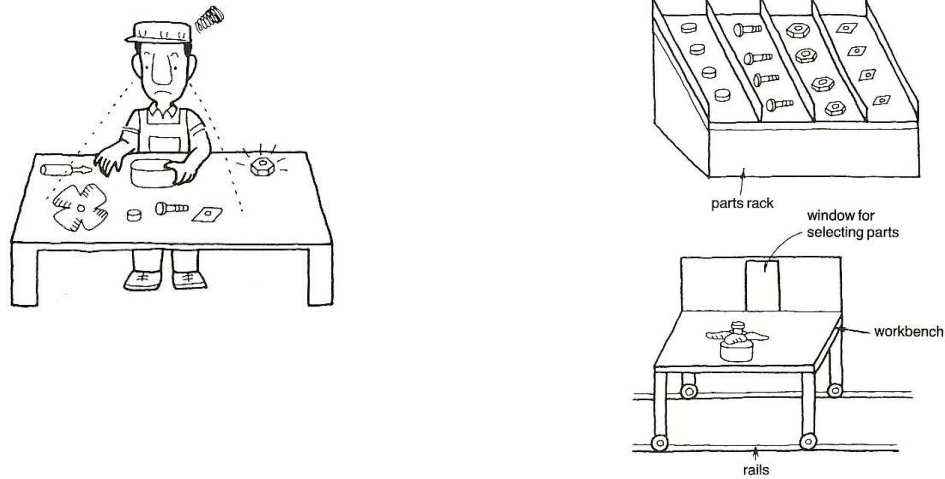


Figura 12 – As peças necessárias para a montagem da ventoinha são colocadas em cima da mesa de trabalho. Por vezes o operador esquece-se de montar algumas das peças, tais como anilhas e porcas e as ventoinhas eram instaladas nos produtos finais sem estas peças. Foi desenvolvido um tabuleiro com divisões onde as peças são colocadas pela ordem em que são utilizadas no processo de montagem. As peças são acedidas através de uma janela criada na mesa de trabalho que se move em carris para permitir ao operador aceder a cada peça durante a montagem [12]. É um sistema anti-erro que controla o processo.

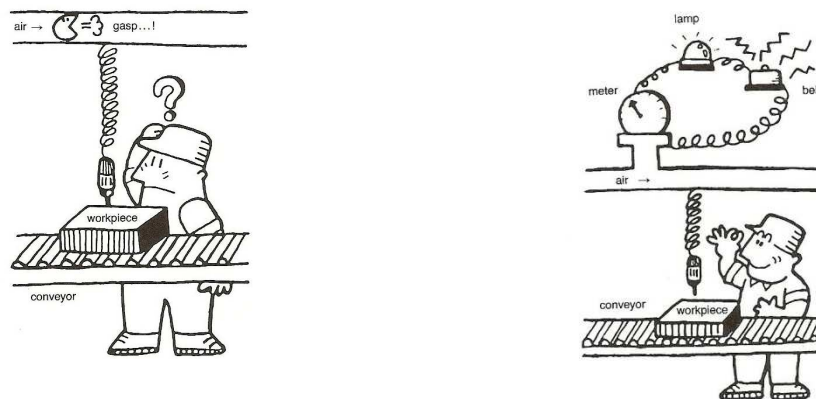


Figura 13 – Inicialmente se a pressão do ar reduzisse durante o aperto, nenhum aviso do problema era dado. Foi instalado um medidor de pressão de ar na linha de ar comprimido. Uma lâmpada pisca, o alarme soa e o tapete pára quando a pressão de ar desce abaixo do ponto crítico [12]. Este sistema anti-erro permite detectar a falha, avisar o operador e parar o processo de fabrico.

1.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS *POKA-YOKE*

Shingo [6], classifica os dispositivos *Poka-Yoke* de acordo com as técnicas e mecanismos utilizados, resultando as classes apresentadas na figura 14.

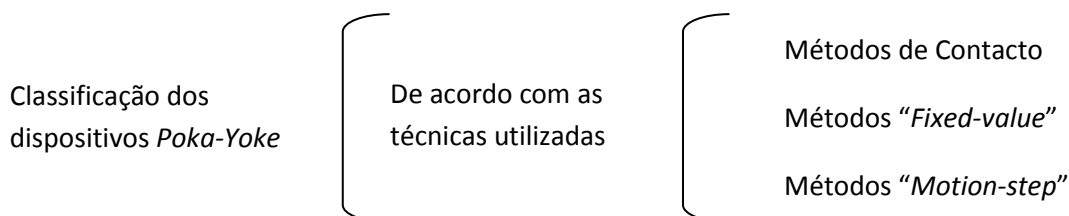


Figura 14 – Classificação dos dispositivos *Poka-Yoke* [6].

- Métodos de Contacto – utilizam dispositivos que detectam anomalias na forma ou dimensão do produto; pode haver ou não contacto entre o dispositivo e o produto durante o processo de controlo; diferenças na tonalidade da pintura, é um caso que também pode ser detectado por este método, utilizando sensores que captam a luz reflectida pela superfície do produto.
- Métodos “*Fixed-value*” – são utilizados para detectar anomalias em operações que incluem um número de movimentos/passos estabelecidos; o objectivo é garantir que nenhum desses movimentos/passos seja esquecido, através da contagem automática do número de movimentos realizados.
- Métodos “*Motion-step*” – são utilizados para detectar anomalias em operações que incluem um padrão pré-estabelecido de movimentos/etapas; este método evita que o operador realize, por engano, uma etapa que não faz parte do procedimento pré-estabelecido [6, 14].

De seguida são descritos os mecanismos mais utilizados no desenvolvimento de sistemas *Poka-Yoke* de acordo com as funções desejadas.

Nos sistemas em que há contacto entre os mecanismos e os produtos, utilizam-se frequentemente:

- *Interruptores de limite e microinterruptores* – confirmam a presença, posição de objectos e detectam ferramentas partidas, alguns incluem luzes para facilitar a inspecção de manutenção.

- *Interruptores de toque* – activados por um toque ligeiro na antena; estes interruptores podem detectar com elevada sensibilidade a presença de objectos, posição e dimensões.
- *Transformadores diferenciais* – quando colocados em contacto com o produto, geram-se flutuações nas linhas de força magnética permitindo detectar objectos com um alto grau de precisão.
- *Comparadores electrónicos* – são constituídos por um relógio comparador onde os valores limites, bem como a medição actual podem ser visíveis; os limites podem ser estabelecidos electronicamente, permitindo que o dispositivo identifique a aceitabilidade das medições.
- *Sensores de nível* – detectam níveis de líquido sem o uso de flutuadores.

Nos sistemas de detecção em que não existe contacto entre os mecanismos e os produtos, utilizam-se:

- *Sensores de proximidade* – estes sistemas respondem a mudanças nas linhas de força magnética causadas pela proximidade do objecto; só podem ser utilizados com materiais ferro-magnéticos.
- *Sensores fotoeléctricos (de transmissão e de reflexão)* – nos de transmissão, o feixe transmitido entre dois sensores é interrompido pelo objecto a ser detectado; nos de reflexão, analisa-se o feixe luminoso reflectido pelo objecto.
- *Sensores de luz (de transmissão e de reflexão)* – estes sistemas de detecção fazem uso de feixes de electrões.
- *Sensores de fibra* – sensores que utilizam fibras ópticas.
- *Sensores de área* – a maioria dos sensores detectam apenas interrupções lineares, mas estes sensores podem detectar interrupções sobre uma área fixa.

- *Sensores de posição* – estes sensores detectam o posicionamento.
- *Sensores de dimensão* – estes sensores verificam se as dimensões estão correctas.
- *Sensores de deslocamento* – estes sensores que detectam deformações, espessuras e níveis de alturas.
- *Sensores de passagem de metal* – estes detectam a presença de metais misturados com outros materiais.
- *Sensores de marcas coloridas* – estes sensores detectam marcas de cor ou diferenças de cor.
- *Sensores de vibração* – estes podem detectar a passagem de produtos, a posição de soldaduras e fios partidos.
- *Sensores de dupla-alimentação* – estes sensores detectam dois produtos alimentados ao mesmo tempo.
- *Sensores de posição de soldadura* – detectam a mudança de composição metálica sem entrar em contacto com o objecto; podem detectar soldaduras invisíveis superficialmente
- *Sensores com rosca* – detectam erros de maquinação de furos roscados.
- *Sensores de elementos fluídos* – estes dispositivos detectam mudanças nos fluxos de ar ocasionados pela colocação ou remoção de objectos (por exemplo detectam brocas partidas).

Nos sistemas em que se medem pressões, temperaturas, correntes eléctricas, vibrações, número de ciclos, tempo e transmissões de informação, utilizam-se:

- medidores de pressão que permitem detectar interrupções nos fluxos de óleo;
- termómetros, termóstatos e termopares que podem ser usados para verificar a temperatura de moldes, componentes electrónicos, motores, entre outros tipos de medição e controlo de temperatura;
- “*meter relays*” que são apropriados para controlar causas de defeitos através da detecção de flutuações da corrente eléctrica;
- sensores de vibração que podem ser aplicados para detectar vibrações anormais de máquinas causadoras de defeitos;
- contadores ou sensores de fibra óptica para detecção de contagens erradas;
- temporizadores que podem ser utilizados para medir o tempo e durações;
- o som ou a luz podem ser utilizados para transmitir informações sobre anomalias; o som capta mais a atenção dos operadores do que os sinais luminosos; o uso de luzes coloridas melhora a eficácia dos sinais luminosos;

1.1.2. REGRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS *POKA-YOKE*

De acordo com Shingo [8], a implementação dos sistemas *Poka-Yoke* é facilitada quando algumas regras básicas e simples são consideradas:

- escolher um processo piloto e fazer uma lista dos erros mais comuns dos operadores;
- priorizar os erros por ordem de frequência;
- priorizar os erros por ordem de importância;
- projectar sistemas *Poka-Yoke* para impedir os principais erros das duas listas;
- utilizar *Poka-Yoke* de controlo quando é impossível corrigir o defeito;
- fazer uma análise de custo-benefício antes de implementar o sistema *Poka-Yoke*;

1.1.3. IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA *POKA-YOKE*

A implementação de sistemas *Poka-Yoke* pode estar associada a outras ferramentas da qualidade. De facto as empresas têm ao seu dispor várias ferramentas que podem ser aplicadas na melhoria contínua dos seus processos de fabrico (ver figura 15). De destacar a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), que tem como objectivo evitar, através da identificação de potenciais falhas e implementação de acções de controlo e de melhoria, a ocorrência de não-conformidades nos produtos e/ou nos processos. Para eliminar as falhas, podem ser aplicados sistemas *Poka-Yoke*, funcionando como um complemento da primeira ferramenta [9].

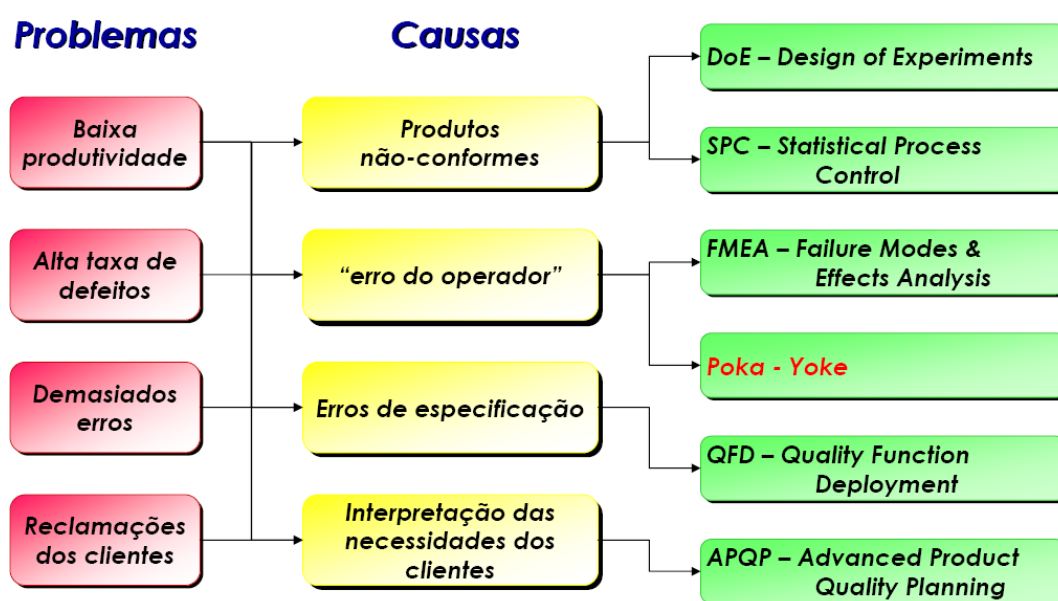


Figura 15 – Problemas, causas mais e ferramentas de melhoria [9].

A implementação de sistemas à prova de erro pode realizar-se passo-a-passo de acordo com a figura 16. A primeira etapa consiste em identificar o problema com base, por exemplo, em dados da não-qualidade. Na segunda etapa analisa-se a urgência e identificam-se as causas do problema. A etapa seguinte concentra-se na selecção do melhor sistema à prova de erro. Nas últimas fases o sistema à prova de erro é implementado e validado com os resultados obtidos: verifica-se se o problema foi resolvido e identificam-se outras acções a tomar caso seja necessário [9].

A *Profitability Engineers* [15] sugere várias actividades/passos em cada uma das seis etapas de implementação.

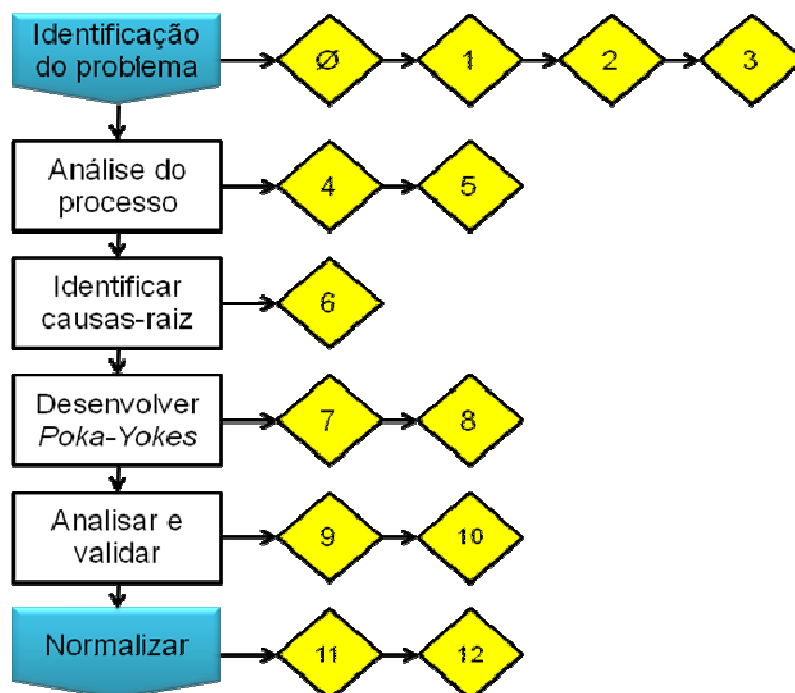


Figura 16 – Sequência das etapas da implementação do *Poka-Yoke*.

Passo Ø – Planear as actividades

A implementação do *Poka-Yoke* tem que ser planeada de forma global, considerando todos os projectos individuais de *Poka-Yoke*, e particularmente, analisando cada projecto específico.

O processo/operação alvo deve ser escolhido de acordo com as prioridades e preocupações da qualidade e com o envolvimento dos respectivos responsáveis; deve permitir uma implementação rápida, fácil e com resultados economicamente favoráveis. Os seguintes critérios podem ser utilizados na escolha do processo/operação alvo:

- nível de desperdício elevado;
- inexistência de acções correctivas na sequência de defeitos;
- estrangulamento no processo provocado pelos defeitos.

De seguida deve-se seleccionar o responsável pelo projecto *Poka-Yoke*, o qual deverá ter conhecimentos técnicos adequados e capacidade de liderança, para além de conhecer bem o processo em causa e a metodologia *Poka-Yoke*.

A equipa do projecto deve ser constituída por colaboradores directamente envolvidos no processo em causa; devem representar todos os turnos, ter conhecimento prático do processo e de trabalho em equipa. Podem ainda integrar a equipa, técnicos (por exemplo, fornecedores de componentes, equipamentos e ferramentas) que possam contribuir com os seus conhecimentos especializados. É normal participarem pessoas da engenharia do produto, da produção e da manutenção.

Passo 1 – Preparação do projecto

A preparação deve basear-se em dados e informação dos processos: fluxogramas, folhas de registo, instruções de montagem, indicadores da qualidade, documentos FMEA.

Neste passo definem-se os objectivos pretendidos. Por exemplo, aumento do volume de produção, redução das não-conformidades, aumento do cumprimento do prazo das entregas. Toda a informação gerada deve ser organizada, analisada e guardada num dossier *Poka-Yoke*.

Passo 2 – Apresentação do projecto *Poka-Yoke*

Nesta fase deve ser realizada uma sessão para apresentação do projecto, sempre que possível com a participação de quadros superiores de modo a demonstrar o envolvimento da empresa.

Passo 3 – Caracterização dos defeitos

A caracterização dos defeitos deve incluir:

- identificação dos pontos de recolha de dados (por exemplo: postos de retrabalho ou de inspecção da qualidade);
- recolha da informação da qualidade relevante (por exemplo: gráficos de tendência e frequência de defeitos) relativa, no mínimo, a um mês de produção (normalmente é recomendado um período maior);
- análise de Pareto dos defeitos identificados e análise dos defeitos com maior ocorrência;

Os defeitos mais típicos são:

- peças/produtos danificados ou com dimensões fora da especificação;
- peças/produtos incorrectamente montados;
- presença de materiais estranhos;

- peças que não combinam ou que não alinham;
- componentes fornecidos não-conformes;
- abastecimento incorrecto e/ou identificação incorrecta das embalagens;

Este passo termina com a selecção dos defeitos a analisar e solucionar com o projecto *Poka-Yoke*.

Passo 4 – Análise do processo

Depois de seleccionar os defeitos a eliminar, é necessário analisar e documentar o processo, designadamente, identificar as condições que podem provocar erros, falhas ou defeitos (por exemplo: ajustes de equipamento, mudanças de ferramentas, dimensões/especificações/características críticas do produto, demasiadas peças ou peças misturadas, operações múltiplas, produção pouco frequente).

Passo 5 – Análise de erros

A informação recolhida anteriormente é registada de forma organizada num formulário que contem a sequência das operações.

Passo 6 – Identificação das causas – de erro

Nesta fase é normal utilizar-se os “5 Porquês” para investigar e identificar as causas dos erros.

Passos 7 e 8 – Desenvolvimento de melhorias e de dispositivos à prova de erro

Nesta fase desenvolvem-se as soluções de melhoria. É necessário articular as propostas de melhoria com as áreas técnicas e simular as operações dos processos melhorados. No final é imprescindível obter a aprovação dos responsáveis pelas áreas afectadas e da direcção relativamente aos resultados alcançados.

Passo 9 – Implementação das soluções

O plano de implementação de acções, deve ser elaborado abordando as seguintes questões:

- descrever detalhadamente cada acção (o quê, quando, como e quem?);
- obter o acordo prévio de participantes externos;
- acordar todas as datas de implementação;

- verificar a exequibilidade de cada uma das acções;
- garantir uma análise de risco;

Saliente-se que o sistema *Poka-Yoke* deve ser incluído no plano de manutenção de modo a garantir sempre o seu funcionamento correcto. Por muito bom que seja, torna-se desnecessário ou mesmo prejudicial se deixar de funcionar eficazmente.

Passo 10 – Análise de resultados e benefícios

Nesta fase deve-se analisar os custos de instalação (mão-de-obra, equipamentos, materiais) e avaliar as melhorias alcançadas, ao nível do retrabalho, refugo, ergonomia, segurança, entre outros factores. O impacto pode ser medido com base nos seguintes indicadores: defeituosos (internos e externos), eficiência global do equipamento (OEE), desempenho de entregas. Os resultados devem ser avaliados comparativamente com os objectivos previamente estabelecidos no início do projecto.

Passo 11 – Normalização

Depois de implementar o projecto é necessário actualizar a documentação do processo (planos de controlo, FMEA, procedimentos e planos de manutenção que passam a incluir as intervenções nos dispositivos aplicados). É fundamental monitorizar o funcionamento ao longo do tempo, designadamente através de indicadores.

Passo 12 – Partilha de soluções

Em coerência com a filosofia da melhoria contínua e partilha das melhores práticas, devem-se identificar outras áreas da empresa que poderão beneficiar com o actual projecto.

CAPÍTULO II - APLICAÇÃO DO *POKA-YOKE* NA EMPRESA INAPAL PLÁSTICOS

2.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O desenvolvimento do trabalho apresentado nesta dissertação foi realizado em ambiente industrial, mais precisamente na Inapal Plásticos S.A. em Leça do Balio.

A Inapal Plásticos S.A. foi criada em 1990 com o objectivo de obter uma posição de liderança na transformação de materiais compósitos através da qualidade, inovação e competitividade. Esta empresa foi constituída a partir da Inapal S.A. situada em Leça do Balio, a qual iniciou a produção de componentes metálicos para a indústria automóvel em 1974 e a produção de componentes em materiais compósitos em 1981. A partir do conhecimento adquirido e de um forte investimento, a Inapal Plásticos tem desenvolvido tecnologias de transformação de materiais compósitos termoplásticos: LFT (long fiberglass thermoplastics), LFG (long fiberglass ganulated), GMT (glass material thermoplastic) e termoendurecíveis: SMC (sheet moulding compound). A Inapal Plásticos tornou-se uma empresa de referência no mercado com uma vasta carteira de clientes: Volkswagen – Webastos e Autoeuropa, Renault – Compin e Faurecia, Rieter, Seat, Iveco, Ford – Carrier, Nissan. Em 2004 foi criada uma nova unidade industrial situada em Palmela para dar resposta a novos projectos, sendo uma das fábricas mais automatizadas em todo o mundo nesta área. Actualmente, a Inapal Plásticos S.A. dispõe de 453 colaboradores e o seu volume de vendas é de 44,8 milhões de euros.

Na figura 17 está descrito o organigrama geral da Inapal Plásticos S.A. De destacar a Direcção da Qualidade, Ambiente e Segurança que tem como missão melhorar a eficácia e eficiência dos processos de fabrico. Esta Direcção inclui cinco funções principais, entre as quais a Engenharia da Qualidade, responsável pela melhoria contínua dos processos de fabrico (ver figura 18). Refira-se que foi no âmbito da actuação da Engenharia da Qualidade que se desenvolveu este trabalho agora apresentado.

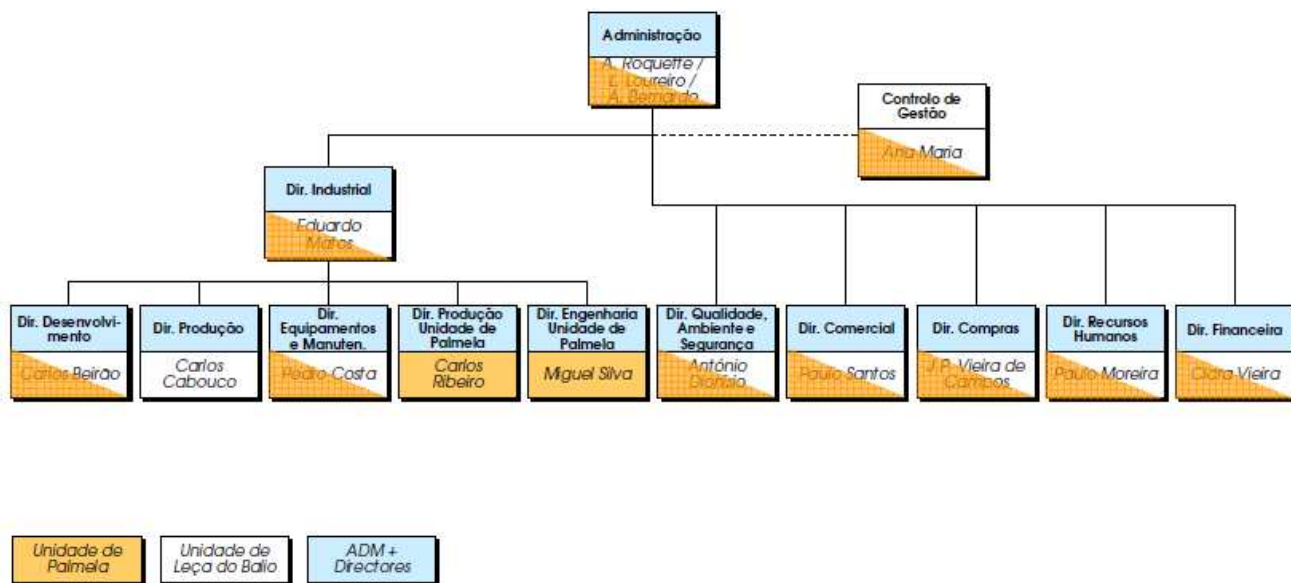


Figura 17 – Organograma geral da Inapal Plásticos S.A.

A Inapal Plásticos possui meios técnicos e humanos qualificados para a concepção e desenvolvimento de produtos e sistemas permitindo dar resposta aos requisitos dos seus clientes. Os seus sistemas de Qualidade, Ambiente e Segurança encontram-se certificados, quer por clientes, quer por organismos de certificação, como se pode analisar na tabela I.

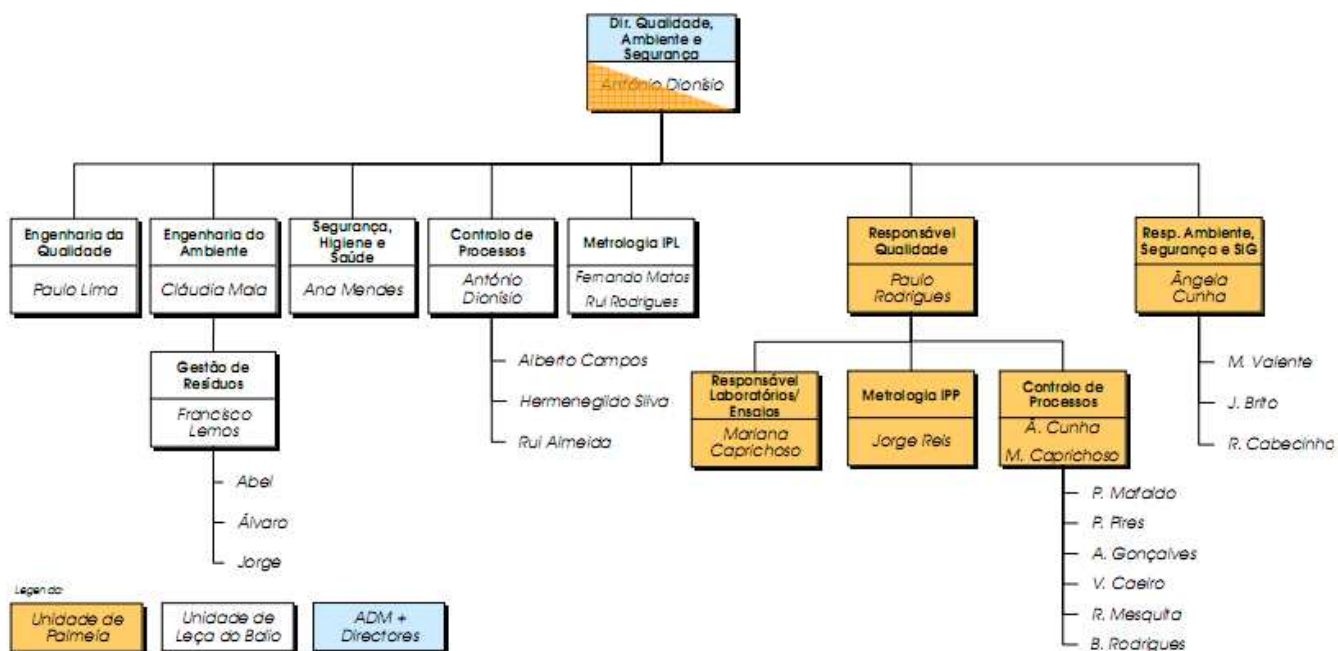


Figura 18– Organograma funcional da Direcção da qualidade da Inapal Plásticos S.A.

Tabela I – Certificações da Inapal Plásticos S.A.

Ano	Certificações
1995	General Motors (91%); Ford (Q1 AWARD)
1996	Renault Vehcles Industrial (89%); Renault (A); ISO 9001
2003	Renovação ISO 9001:2000
2004	Volkswagen (92%); TS 16949:2002; ISO 14001:1999
2005	OSHAS 18001:1999

2.2. PROCESSO DE FABRICO

A linha de produção de termoplásticos – LFT (long fiber thermoplastics) é composta por uma extrusora que transforma a matéria-prima numa carga, ligeiramente pastosa e com a forma cilíndrica, a qual é colocada dentro do molde por um robot de seis eixos. Em seguida, a prensa fecha e aplica a força de compressão, executando a peça. Depois do molde abrir, outro robot tira a peça e coloca-a no arrefecedor. O mesmo robot pega noutra peça (já arrefecida) e coloca-a na prensa de corte. Esta prensa fecha e corta a peça. A peça é retirada por um terceiro robot que a coloca na rebarbagem. No final a peça é colocada no contentor para seguir para expedição.

Na linha de produção de termoendurecíveis – SMC (sheet moulding coumpond), o operador corta o SMC, verifica o seu peso na balança segundo procedimento definido na ficha do posto. A carga pronta é colocada no molde e aplica-se a carga de compressão. Depois de prensada, o operador retira a peça, realiza a rebarbagem e coloca-a no contentor

Nas figuras 19 a 26 pode-se observar os componentes com maior produção na empresa:

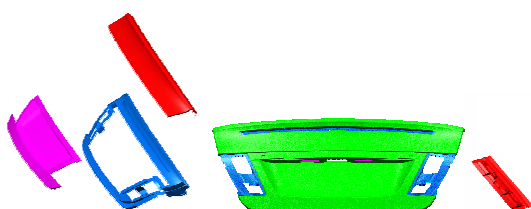


Figura 19 – Conjunto de peças que formam a mala traseira do Mercedes CL 203.

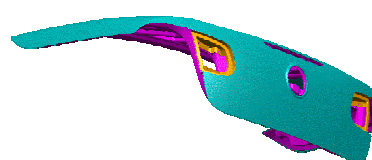


Figura 20 – Mala traseira do Volkswagen EOS.

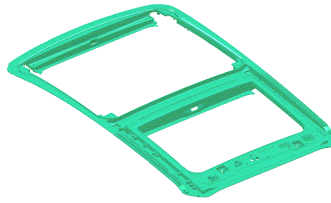


Figura 21 – Tecto panorâmico do Renault Clio Break.

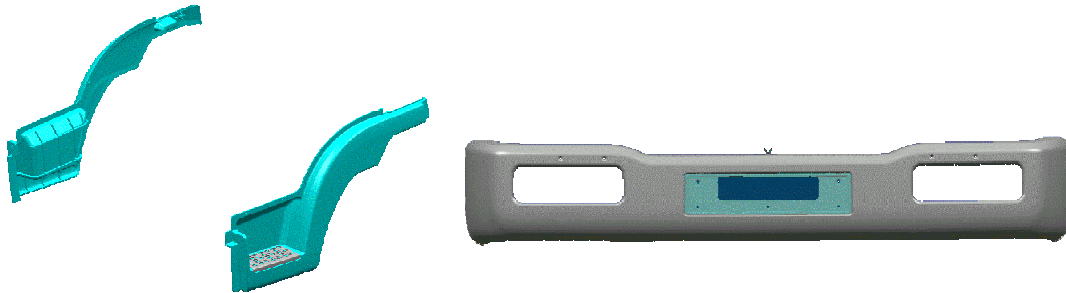


Figura 22 – Conjunto de peças do pára-choques do Camião Renault-Daff.

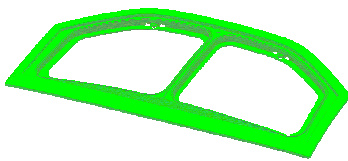


Figura 23 – Tecto panorâmico da Renault Kangoo.

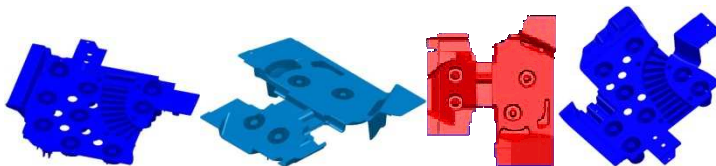
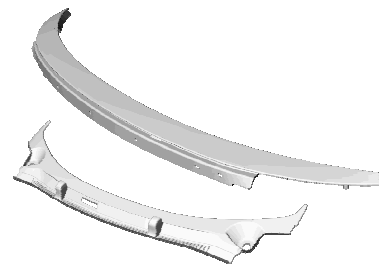


Figura 24 – Reforço protector do chassi do Citroen Picasso.

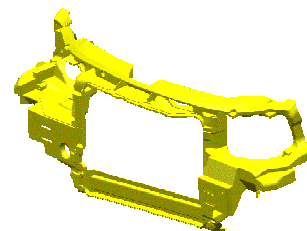


Figura 25 – Suporte do radiador e faróis da Volkswagen Sharan e da Seat Alhandra.

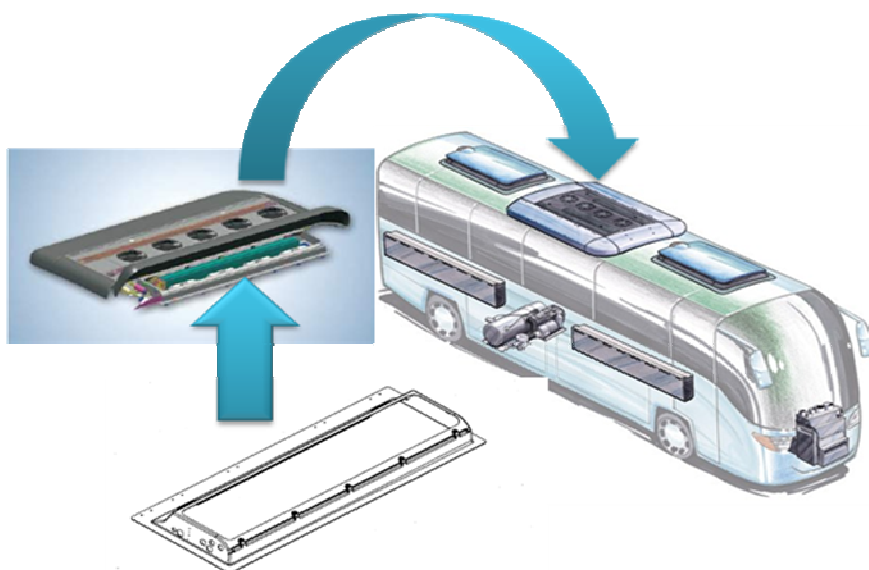


Figura 26 – Painel superior do ar condicionado dos autocarros.

2.3. MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO E OBJECTIVOS

Um dos principais desafios das empresas é fabricar produtos conformes com requisitos e normas de modo a garantir lugar num mercado cada vez mais competitivo. Assim sendo, uma das prioridades das empresas é o desenvolvimento de metodologias de melhoria do desempenho dos processos de fabrico, baseadas em mecanismos que garantam maior eficiência e menos não-conformidades.

O problema da empresa consistia na elevada taxa de rejeições verificada num processo de fabrico dedicado à produção de um conjunto de peças (painéis superiores) que têm como função o alojamento do ar condicionado de autocarros (ver figura 26). Mais especificamente, estabeleceu-se como objectivo reduzir a proporção de produtos não-conformes na linha de produção dedicada ao fabrico de painéis superiores de ar condicionado, através de soluções baseadas em sistemas à prova de erro. É sabido que estes sistemas constituem um modo de garantir a qualidade dos processos de fabrico, cuja utilização tem crescido consideravelmente, sobretudo nas empresas que implementam programas de melhoria baseados na filosofia dos Zero Defeitos [6].

2.4. METODOLOGIA UTILIZADA

De modo a alcançar-se o objectivo pretendido, estabeleceram-se as seguintes etapas:

- analisar o desempenho das principais etapas e operações;
- caracterização e quantificação de defeitos;
- identificação de falhas e respectivas causas;
- estabelecimento de indicadores de desempenho para monitorizar a eficácia das acções implementadas;
- desenvolver soluções anti-erro para os problemas anteriormente identificados;
- propor acções que contribuam para a melhoria da qualidade do processo em causa.

Primeiro, foi necessário formar uma equipa de trabalho que passou a ser constituída por quatro pessoas (da Direcção da Qualidade, da Eng.^a da Qualidade, da Eng.^a do Produto e o autor desta dissertação) com conhecimento prático do processo de fabrico, da qualidade e do produto. De seguida fez-se uma análise do processo de fabrico, das respectivas etapas e operações, com o auxílio das ferramentas da qualidade (planos de controlo, fluxogramas, diagramas de Pareto e de causa e efeito).

2.5. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

O processo de fabrico a seguir descrito, tem como produto final o painel superior do ar condicionado de camiões e autocarros. Na figura 27 apresenta-se a sequência das principais operações e destacam-se as variáveis controladas.

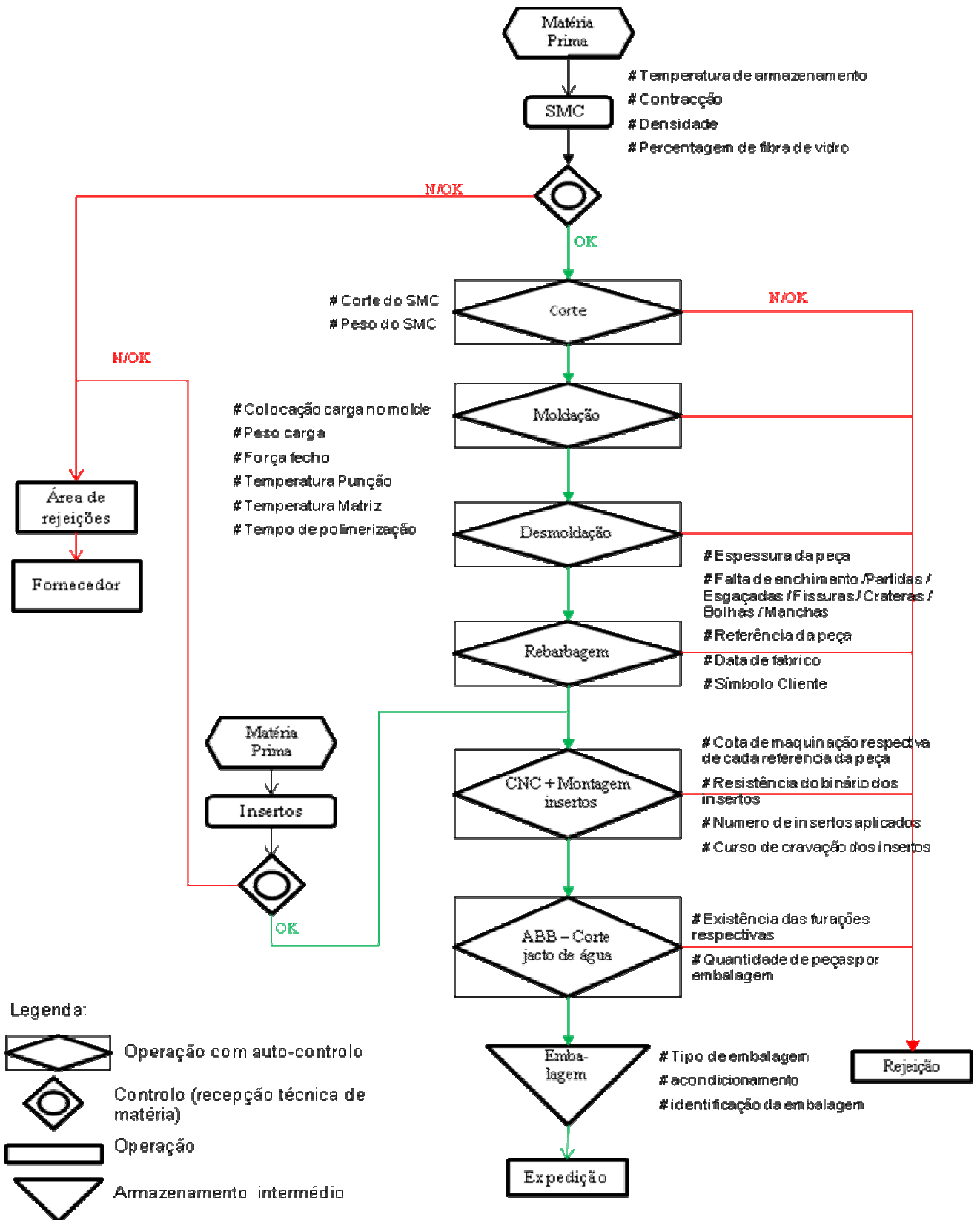


Figura 27 – Fluxograma do processo de fabrico do painel superior.

Recepção da matéria-prima SMC

Os rolos de SMC (figura 28) são armazenados a uma temperatura controlada ($20\pm 3^{\circ}\text{C}$) para não se alterarem as propriedades químicas. A primeira operação do processo de fabrico consiste em cortar e pesar as diferentes cargas conforme mostra a tabela II.

Figura 28 – Preparação do rolo de SMC antes da operação de corte e pesagem.

Tabela II – Cargas de SMC utilizadas para formação do painel superior.

Carga	tipo 1	tipo 2	tipo 3
Dimensão	450mm x 550mm	1900mm x 150mm	1900mm x 150mm
Peso	0,725Kg +0,725Kg	2,610Kg	4,210Kg
Total	8,270Kg \pm 0,02		

Moldação

Nesta operação, são ajustados os parâmetros da prensa para o produto a fabricar: força de fecho: 7400kN; temperatura do punção: 135-140 °C; temperatura da matriz: 147-153 °C; tempo de polimerização: 180 s.

As cargas são colocadas no molde como mostram as figuras 29 e 30.

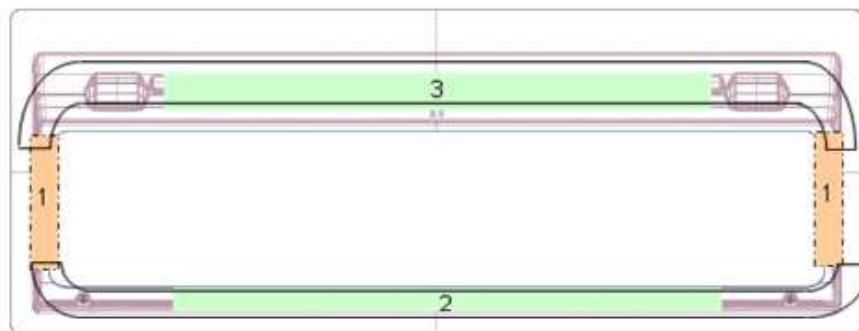


Figura 29 – Esquema do molde com o local onde são colocadas as cargas de SMC.

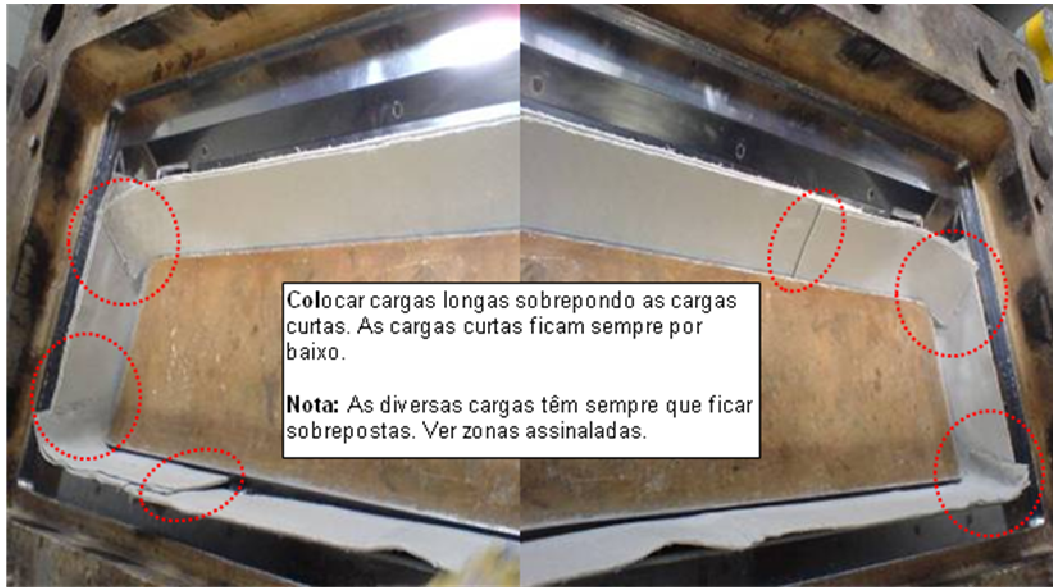


Figura 30 – Colocação das cargas no molde.

Maquinação

Nesta operação são realizados todos os furos menores ou iguais a 12mm, numa máquina CNC (Computerized Numerical Control). Para cada referência selecciona-se o respectivo programa de maquinação. Na figura 31 mostra-se a furação realizada das referências do painel superior.

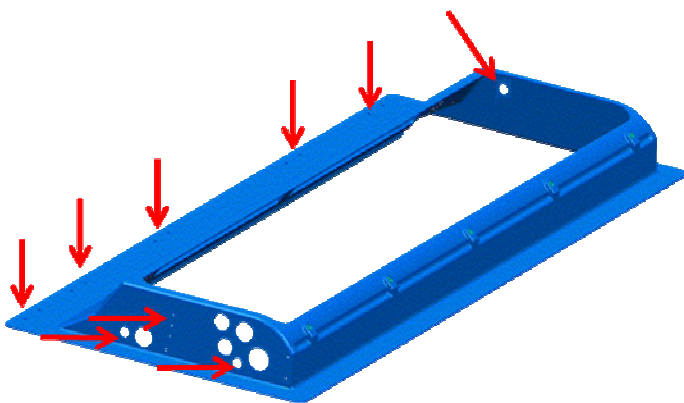


Figura 31 – Furação realizada numa das referências do painel superior na CNC. As setas indicam os furos realizados nesta etapa do processo de fabrico.

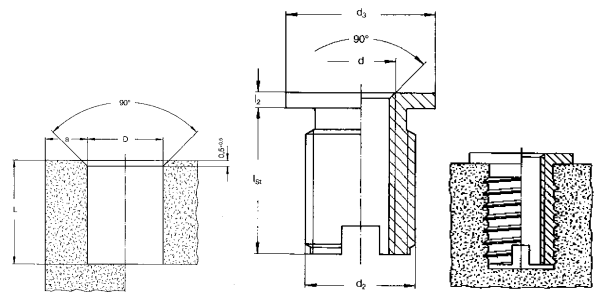


Figura 32 – Esquema do inserto M6 auto roscante (furo, inserto e furo+inserto).

Após esta operação, os furos são controlados visualmente e montam-se os insertos que auxiliam a montagem do produto. Os insertos utilizados são M6 auto roscantes (ver figura 32).

Corte por jacto de água

Esta etapa do processo de fabrico é realizada por um robot que faz os rasgos e furos superiores a 12mm. Na figura 33 mostra-se a furação realizada das referências do painel superior.

No início desta operação faz-se um arranque de série onde se controla visualmente determinados parâmetros, tais como, aspecto e dimensões de furos realizados na etapa anterior.

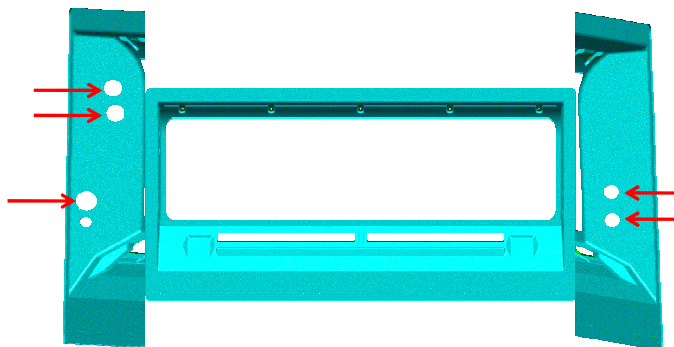


Figura 33 – Furos e rasgos realizados numa das referências do painel superior no corte por jacto de água. As setas indicam os furos realizados nesta etapa do processo de fabrico.

Figura 34 – Embalamento das peças.

Embalamento

São colocadas 11 peças em cada contentor metálico (raks), separadas por placas de esferovite como se pode ver na figura 34.

2.6. ANÁLISE DO PROCESSO DE FABRICO DE PAINÉIS SUPERIORES DE AR CONDICIONADO

Com o objectivo de caracterizar e quantificar os defeitos, procedeu-se à recolha de dados da produção referente ao ano de 2008.

2.6.1. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE DEFEITOS

Análise das não-conformidades internas

Com base nos dados recolhidos (ver tabela III e IV) verifica-se que Abril e Maio foram os meses com maior quantidade refugo e que a quantidade total de não-conformes em 2008, foi de 1441 peças.

Os defeitos que causam não-conformidades estão apresentados na tabela III por ordem decrescente de ocorrência. A figura 35 ilustra o respectivo diagrama de Pareto, onde se pode constatar que apenas quatro dos treze tipos possíveis de defeitos são responsáveis por 81% das não-conformidades totais. De salientar que o defeito mais importante “maquinação errada devido a troca de referências”, contribui para 46,3% do refugo total.

Tabela III – Quantidade de peças não-conformes em função do tipo de defeito do painel superior. Dados de 2008.

Mês	2008												Total	Quantidade de não-conformes (%)	Ocorrência acumulada (%)	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro				
Tipo de defeito																
Maquinação errada	102	87	93	130	98	50	52	2	4	45	0	4	667	46,3%	46,3%	
Partidas	20	23	20	50	12	40	1	0	2	10	0	0	178	12,4%	58,6%	
Fissuras	20	20	40	35	40	0	0	0	0	5	0	6	166	11,5%	70,2%	
Crateras	1	0	10	26	100	9	11	0	4	0	0	0	161	11,2%	81,3%	
Manchas	9	1	4	42	0	36	5	0	3	0	0	0	100	6,9%	88,3%	
Espessuras NOK	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	76	5,3%	93,5%	
Falta de enchimento	0	0	0	1	33	7	0	0	0	0	0	0	41	2,8%	96,4%	
Esgaçadas	0	0	20	13	7	0	0	0	0	0	0	0	40	2,8%	99,2%	
Lixo	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	5	0,3%	99,5%	
Falta de incertos	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0,1%	99,7%	
Furação desviada	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0,1%	99,8%	
Riscos	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0,1%	99,9%	
Mau func. equip.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,1%	100,0%	
Total	152	131	187	298	290	222	73	2	13	60	0	13	1441	100,0%		

Tabela IV – Produção mensal e percentagem de não-conformidades do painel superior. Dados de 2008.

2008	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Produção Mensal	1558	1133	1304	1656	1002	786	578	391	1180	1383	0	576
% Não-conformidades	9,8%	11,7%	14,3%	18,0%	28,9%	9,3%	12,6%	0,5%	1,1%	4,3%	0,0%	2,3%

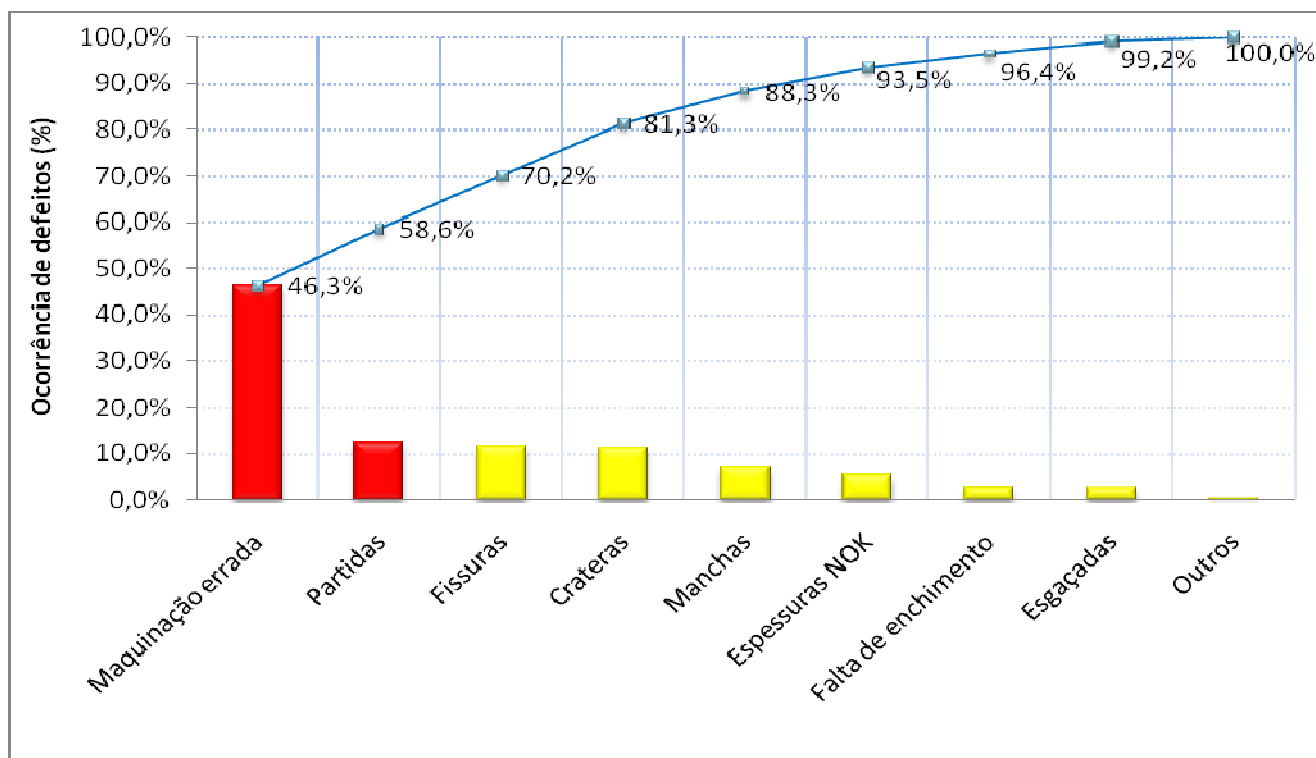


Figura 35 – Análise de Pareto dos defeitos que causaram não-conformidades em 2008.

De um modo geral, os defeitos estão bem caracterizados e uma boa parte pode ser recuperada. Na tabela V apresentam-se, de um modo resumido, as operações de recuperação que são realizadas.

Tabela V – Operações de recuperação de defeitos.

Defeito	Recuperação
Troca de Referências	Algumas peças podem ser recuperadas. Tapam-se os furos com betume de poliéster e fibra de vidro (em pedaços pequenos); o betume faz de ligante e a fibra de vidro confere rigidez. Depois lixa-se e pinta-se.
Partidas	No local da fractura cola-se fibra de vidro (em pedaços pequenos) juntamente com o betume de poliéster; o betume faz de ligante e a fibra de vidro confere rigidez. Depois lixa-se e pinta-se.
Fissuradas	Abre-se a fissura, coloca-se cola rápida e unem-se as partes. De seguida retoca-se com betume de poliéster.
Falta de enchimento	A recuperação depende da quantidade de material em falta e da localização do defeito; a recuperação faz-se com betume com fibra de vidro.
Falta de incertos	Colocam-se os insertos em falta.

Análise das não-conformidades nas operações de moldação e acabamentos (maquinação CNC, montagem de insertos e corte por jacto de água)

Na moldação o refugo foi de 0,7%, correspondendo a um valor de 1716€. A proporção de produtos não-conformes recuperados foi de 7,8%, correspondendo a um valor de 3608€ (ver tabela VI).

Tabela VI – Quantidade e custo de produtos não-conformes originados nas operações de moldação e acabamento. Dados 2008.

Moldação									
2008	Peças Produzidas	Refugo	Refugo %	Refugo €	Peças Recuperadas	Recuperação %	Recuperação €	%Refugo+% Recuperadas	€Refugo+€Recuperação
Janeiro	1558	1	0,06%	21,2€	3	0,2%	12,0€	0,3%	33,2€
Fevereiro	1133	5	0,4%	106,0€	22	2,0%	88,0€	2,4%	194,0€
Março	1304	4	0,3%	84,8€	78	6,0%	312,0€	6,3%	396,8€
Abril	1656	6	0,4%	127,1€	295	17,8%	1 180,0€	18,2%	1 307,1€
Mai	1002	8	0,8%	169,5€	490	48,9%	1 960,0€	49,7%	2 129,5€
Junho	786	23	2,9%	487,4€	0	0,0%	0,0€	2,9%	487,4€
Julho	578	6	1,0%	127,1€	0	0,0%	0,0€	1,0%	127,1€
Agosto	391	11	2,8%	233,1€	0	0,0%	0,0€	2,8%	233,1€
Setembro	1180	1	0,1%	21,2€	5	0,4%	20,0€	0,5%	41,2€
Outubro	1383	5	0,4%	106,0€	0	0,0%	0,0€	0,4%	106,0€
Novembro	0	0	0,0%	0,0€	0	0,0%	0,0€	0,0%	0,0€
Dezembro	576	11	1,9%	233,1€	9	1,6%	36,0€	3,3%	269,1€
Total	11547	81	0,7%	1 716,4€	902	7,8%	3 608,0€	8,5%	5 324,4€
Acabamento									
Janeiro	1557	35	2,3%	1 064,7€	117	7,5%	468,0€	9,8%	1 532,7€
Fevereiro	1128	42	3,7%	1 277,6€	89	7,9%	356,0€	11,6%	1 633,6€
Março	1300	22	1,7%	669,2€	165	12,7%	660,0€	14,4%	1 329,2€
Abril	1650	122	7,4%	3 711,2€	96	5,8%	384,0€	13,2%	4 095,2€
Mai	996	68	6,8%	2 068,6€	222	22,3%	888,0€	29,1%	2 095,2€
Junho	763	87	11,4%	2 646,5€	135	17,7%	540,0€	29,1%	3 186,5€
Julho	572	23	4,0%	699,7€	50	8,7%	200,0€	12,8%	899,7€
Agosto	380	2	0,5%	60,8€	0	0,0%	0,0€	0,5%	60,5€
Setembro	1179	3	0,3%	91,3€	10	0,9%	40,0€	1,1%	131,3€
Outubro	1378	35	2,5%	1 064,7€	25	1,8%	100,0€	4,4%	1 164,7€
Novembro	0	0	0,0%	0,0€	0	0,0%	0,0€	0,0%	0,0€
Dezembro	565	3	0,5%	91,3€	10	1,8%	40,0€	2,3%	131,3€
Total	11468	442	3,9%	13 445,6€	919	8,0%	3 676,0€	11,9%	17 121,6€

Nos acabamentos o refugo foi de 3,9%, correspondendo a um valor de 13 446€. A proporção de produtos não-conformes recuperados foi de 8,0%, correspondendo a um valor de 3676€ (ver tabela VI).

Análise das não-conformidades externas

As não-conformidades externas decorrentes de reclamações, efectuadas em Maio, Setembro e Dezembro, devido a defeitos, atingiram um valor de 5112€ (4236€ para recuperar peças e 877€ para substituir peças sucata). Os defeitos analisados consistiram em: peças partidas, empenos e mau acabamento (ver tabela VII).

Tabela VII – Rejeições externas: tipo de defeitos e quantidade de peças rejeitadas. Dados de 2008.

Reclamações	Defeito	Peças não-conformes	Acções tomadas
Maio	Partidas	157	Recuperação das peças no cliente. Ensaiar novas formulações de SMC. Proposta de aumento de espessura. Redefinição da carga.
Setembro	Empenos	2	Modificar arrefecedores/conformadores.
Dezembro	Empenos e mau acabamento do corte	193	Modificar arrefecedores/conformadores. Melhorar corte (passar esfregão no corte realizado).

A análise das não-conformidades permite constatar que o custo da não-qualidade externa é cerca de quatro vezes inferior ao custo da não-qualidade interna. Por outro lado, verifica-se que o maior custo de não-conformidades é relativo às operações de acabamentos (ver figura 36) devido ao número mais elevado de peças defeituosas (3,9% de refugo e 8% de peças recuperadas). O defeito que mais contribui para estes resultados é designado “maquinação errada devido a troca de referências”.

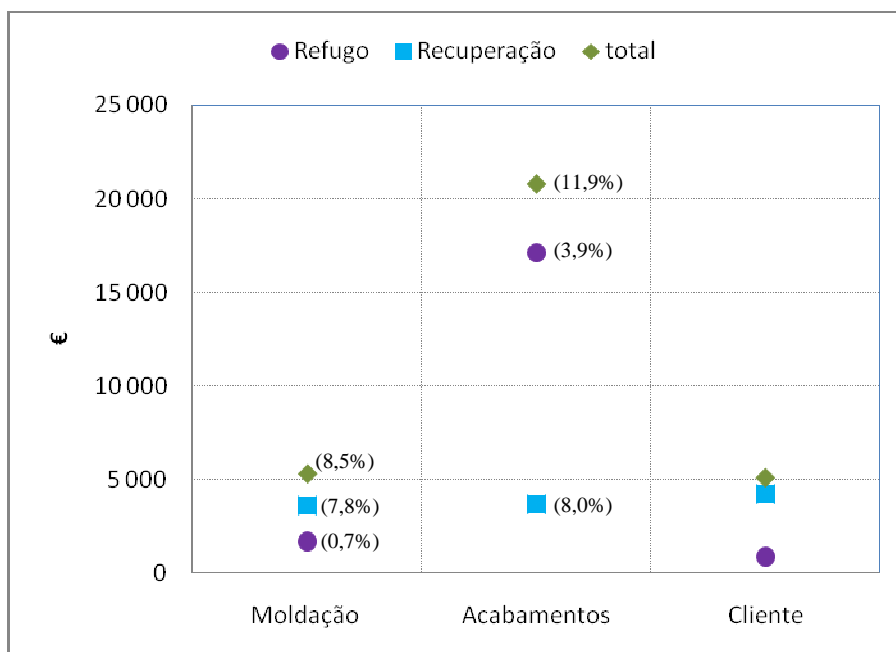


Figura 36 – Custos do refugo, recuperação e totais relativos às operações de moldação, acabamentos e ao cliente; entre parênteses apresentam-se os valores da proporção de produtos rejeitados e recuperados.

2.7. IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS E RESPECTIVAS CAUSAS

A análise das causas do defeito mais importante, em termos de quantidade e consequentemente de custos, mostrou que este era originado na operação de corte por jacto de água que utiliza um robot para realizar as furações e rasgos. Devido à diversidade de furos e rasgos a que a mesma peça base é sujeita, existe a possibilidade de o operador se enganar na selecção do programa de maquinação, dando origem ao processamento de maquinações erradas, com a agravante destes produtos poderem prosseguir para a operação seguinte. Verificou-se também que a falha era mais frequente nos dias em que se produzia um maior número de referências diferentes, ou seja, nos dias com mais mudanças de série de produção (ver tabela VIII e figura 37).

Tabela VIII – Número de referências diferentes produzidas em 2008.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8	5	5	9	4	3	3	2	2	4	0	2

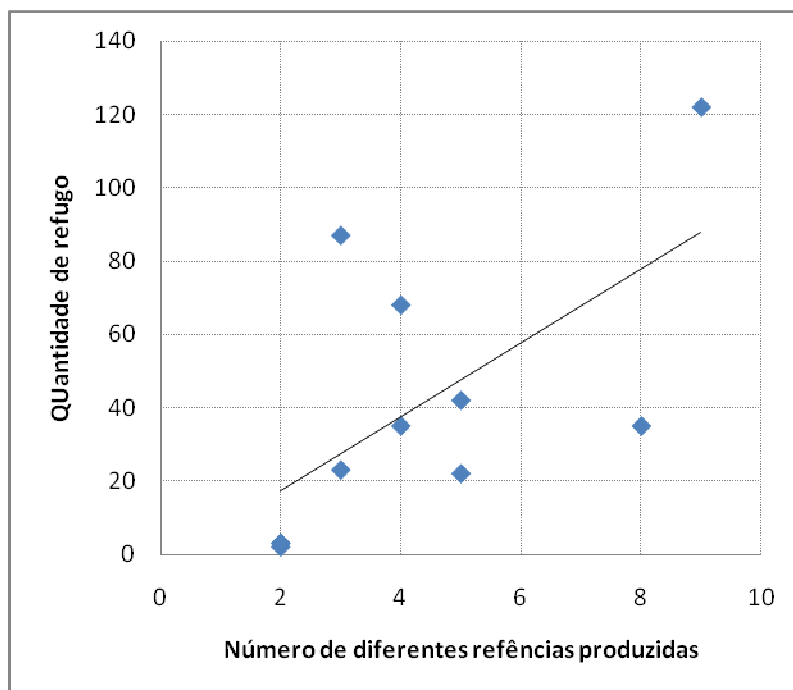


Figura 37 – Relação entre refugo e número de referências diferentes produzidas.

2.8. DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES ANTI-ERRO

O passo seguinte consistiu em projectar um sistema *Poka-Yoke* que impedisse a falha do operador da máquina de corte por jacto de água. Nesta fase foram envolvidos elementos da fabricação, da manutenção e alguns fornecedores de instrumentação e automação industrial.

Foram desenhadas várias soluções e analisadas comparativamente no que diz respeito:

- aos custos de aquisição e instalação;
- às alterações do lay-out do processo necessárias para a implementação;
- à formação do pessoal;
- ao impacto no desempenho do processo.

Um dos sistemas *Poka-Yoke* desenvolvido baseia-se na aplicação de uma câmara de visão artificial. O desenvolvimento deste sistema exigiu a frequência duma acção de formação na qual foram analisadas a capacidade técnica, o modo de funcionamento e os requisitos de aplicação das câmaras.

Conclui-se que apesar de ser possível a aplicação deste sistema no processo em causa, o mesmo apresenta prós e contras. Este sistema anti-erro permite:

- controlar dimensionalmente o produto (CONTROLA);

- detectar erros e avisar o operador (AVISA);
- parar o processo de maquinação (PÁRA);

Este sistema seria integrado no processo, depois da montagem de incertos, entre a etapa 4 e 5 (ver figura 38). A câmara realizaria a leitura das furações efectuadas na operação 3, para de seguida indicar à máquina de corte por jacto de água o número da referência da peça em produção, garantindo a maquinação correcta das furações e rasgos.

A câmara teria de estar ligada a um robot que auxiliasse a leitura das furações (dado que a peça em causa tem dimensões consideráveis: 2m x 1m). Por outro lado, seria necessário criar um suporte para encaixar a peça e que teria de ser rotativo, de forma a rodar a peça para que o robot lesse todas as furações (ver figura 39).

O principal contra deste sistema é o facto de ser bastante dispendioso, ou seja, exige um investimento de 45 000€ (valor muito alto atendendo ao valor do refugo). A sua principal vantagem é permitir o controlo dimensional completo da peça. Na tabela IX, resumem-se os principais prós e contras deste sistema.

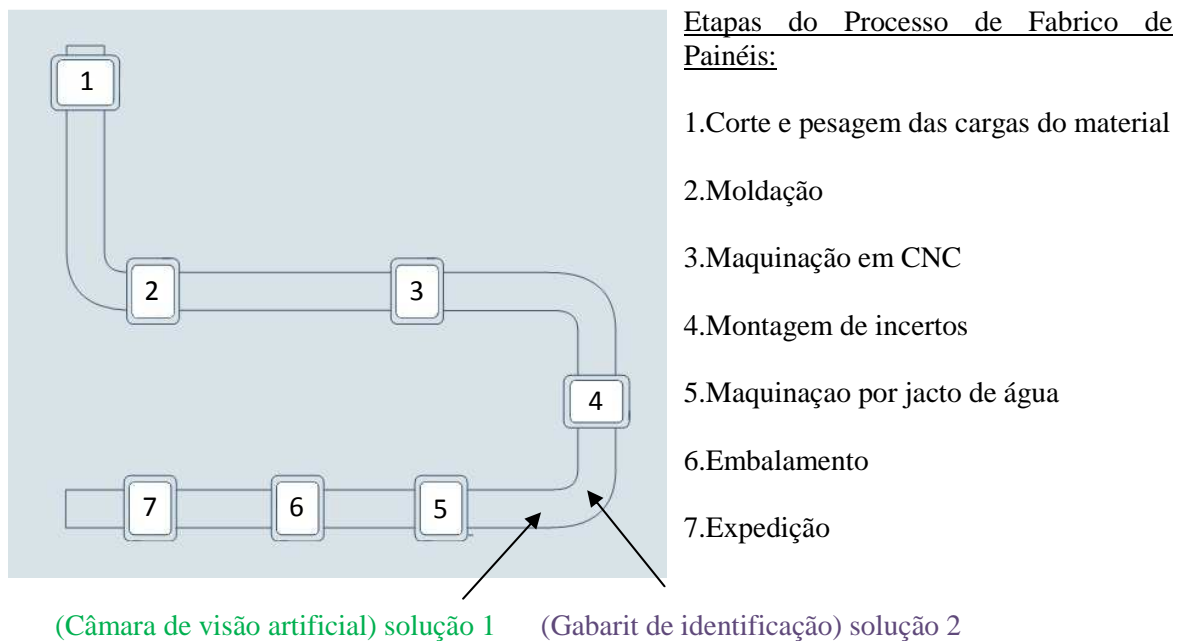
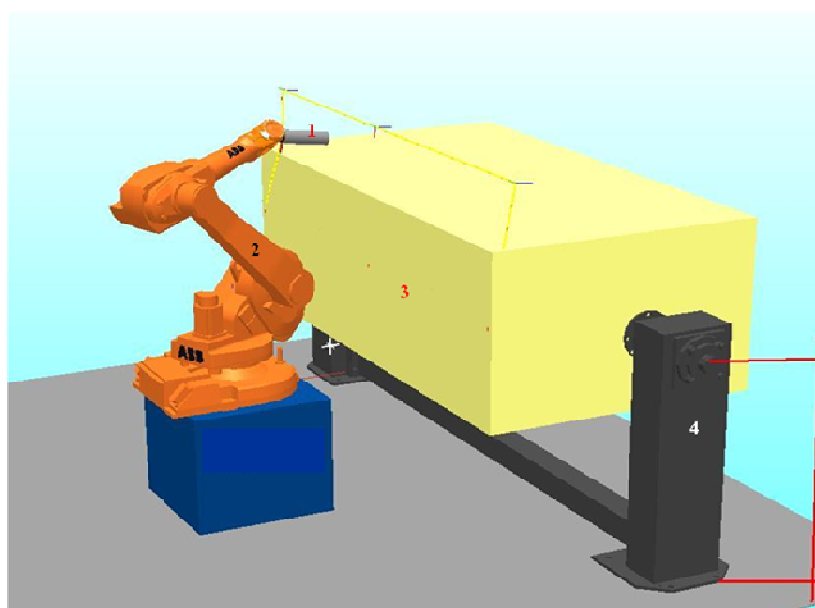


Figura 38 – Esquema do fluxo de fabrico.

Tabela IX – Prós e contras do sistema baseado na câmara de visão artificial.

Prós	Contras
Controlo dimensional completo da peça.	Custo elevado.
Permite detectar referências diferentes.	Layout específico; zona livre de poeiras, lixo e com grande luminosidade.
Flexível para adaptação noutros processos de fabrico.	Falta de área livre para montar este sistema na empresa; não pode funcionar 24h/dia).



Legenda:

1. Câmara de visão artificial
2. Robot
3. Peça
4. Suporte da peça

Figura 39 – Esquema do sistema anti-erro baseado nas câmaras de visão artificial.

O segundo sistema desenvolvido baseia-se na aplicação de máscaras anti-erro (também designados gabarits de identificação). Este sistema (ver esquema na figura 40) permite:

- controlo dimensional (CONTROLO passa/ não-passa);
- detectar o erro e avisar o operador (AVISA);

Este sistema seria aplicado depois da montagem de incertos, entre a etapa 4 e 5 do processo de fabrico (ver figura 38), e funcionária da seguinte forma: depois da montagem dos incertos, a peça seria colocada no gabarit correspondente à sua referência; se os pinos não estiverem alinhados com os furos, o sistema alerta o operador, com um sinal luminoso e sonoro, bloqueando o processo de fabrico. Se a furação estiver de acordo com o gabarit, é

enviado um sinal ao robot da máquina de corte por jacto de água para continuar com o processo de fabrico.

O principal contra deste sistema é não permitir a sua utilização no fabrico de outras peças. A principal vantagem é o controlo dimensional completo da peça. Na tabela X resumem-se os principais prós e contras deste sistema anti-erro.

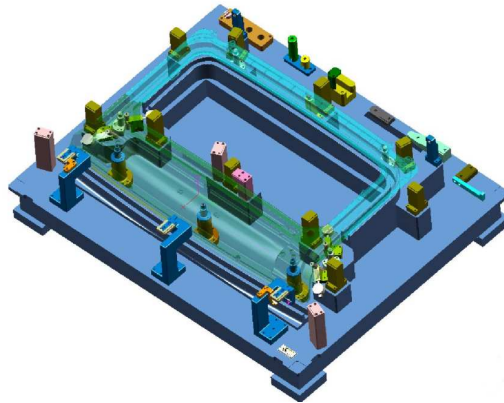


Figura 40 – Esquema de um sistema anti-erro baseado num gabarito de identificação para ser aplicado.

Tabela X – Prós e contras do sistema de gabaritos de identificação.

PRÓS	CONTRAS
Detecção imediata do erro.	Exige: 12 gabarits para as 12 referências diferentes da peça base. Espaço necessário demasiado grande.
Controlo dimensional	Custo unitário elevado (1500€/gabarit). Custo total de 18 000€.
Permite detectar diferentes referências	Sem utilização futura noutros processos de fabrico.

O terceiro sistema desenvolvido baseia-se na identificação dos produtos com uma etiqueta com código de barras para ser lida na máquina de corte por jacto de água. Este sistema anti-erro permite:

- detectar o erro e avisar o operador (AVISA);
- parar o processo de fabrico (PÁRA);

Esta solução exige a aplicação de dispositivos na operação de maquinação em CNC e na maquinação por corte de jacto de água. Na primeira, liga-se um computador com uma

impressora de modo a imprimir com laser as etiquetas com código de barras, para serem coladas na peça em processamento, pelo operador no final da operação. Depois de identificado o componente é transportado e colocado na máquina corte por jacto de água. Nesta operação instala-se um leitor de código de barras por infravermelhos, sendo este accionado pelo operador antes do início da operação de corte. Sempre que a referência do código de barras não corresponda à referência do programa de maquinação, a máquina não inicia o programa de corte, exigindo a intervenção do operador.

Comparativamente com os dois sistemas anteriormente descritos, este apresenta como vantagens:

- detecção imediata do erro;
- baixo custo (2 500€, cerca de 15% do valor do refugo anual) ;
- flexibilidade (pode ser adaptado a outros processo de fabrico);
- não exige alteração do layout;

Na figura 41 apresentam-se imagens de pormenor do sistema e na figura 42 está representado o processo de fabrico com este sistema *Poka-Yoke* aplicado.

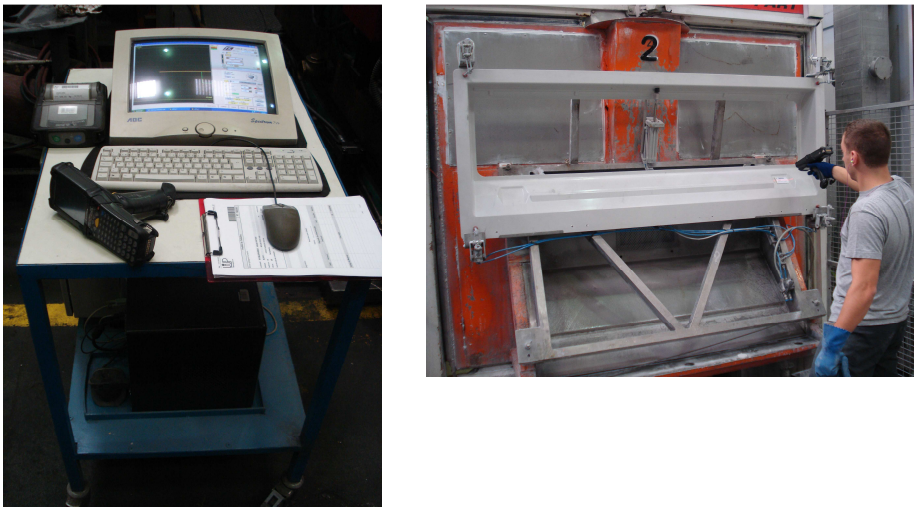
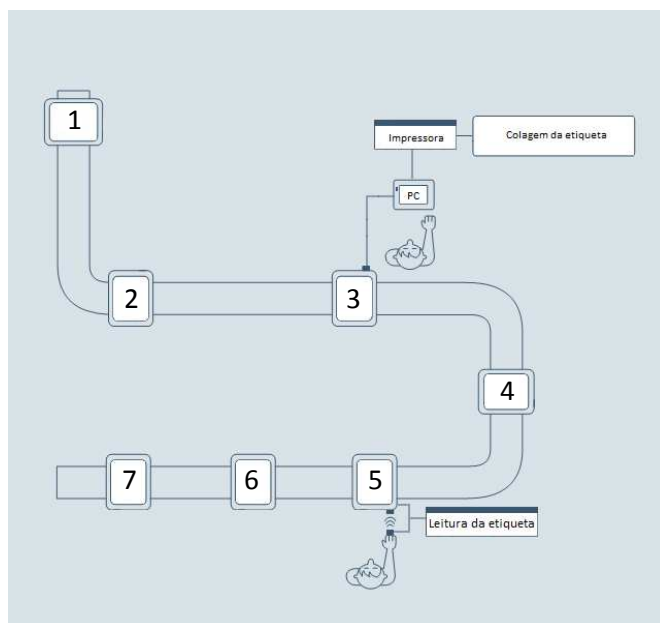


Figura 41 – Na imagem da esquerda observam-se a impressora a laser, o computador e o leitor de código de barras utilizados no sistema *Poka-Yoke*. Na imagem da direita, observa-se o operador a fazer a leitura da etiqueta antes da maquinação por jacto de água.



Etapas do Processo de Fabrico de Painéis:

1. Corte e pesagem das cargas de material
2. Moldação
3. Maquinação em CNC (e identificação por código de barras)
4. Montagem de incertos
5. Maquinação por jacto de água (com dispositivo *Poka-Yoke*)
6. Embalamento
7. Expedição

Figura 42 – Esquema do fluxo de fabrico com o sistema *Poka-Yoke* implementado.

2.9. APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA *POKA-YOKE*

O sistema escolhido, descrito nas figuras 41 e 42, foi apresentado aos colaboradores directamente envolvidos no processo em causa. O feedback foi muito positivo porque os operadores perceberam que os dispositivos anti-erro facilitam a realização das operações, exigindo menor concentração e aumentando a sua eficácia.

Posteriormente, este projecto foi validado durante duas semanas de produção nas quais foram fabricadas 800 peças. O impacto foi avaliado através do número de não-conformes. Os resultados obtidos (ver tabela XI) mostram que neste período não houve defeitos devido a “maquinação errada por troca de referências”.

Tabela XI – Peças produzidas com a implementação do dispositivo *Poka-Yoke*.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Peças Produzidas	70	58	47	57	60	45	47	70	65	51	42	60	62	54
Maquinação errada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Depois da implementação deste sistema anti-erro foi necessário actualizar a documentação do processo, designadamente, os planos de controlo, os procedimentos e planos de manutenção.

CAPÍTULO III - CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu demonstrar a aplicabilidade de sistemas à prova de erros no processamento de materiais compósitos. Os resultados obtidos evidenciam o contributo fundamental destes sistemas para o alcance do objectivo “Zero Defeitos”.

O caso apresentado neste trabalho confirma que os sistemas *Poka-Yoke* podem ser concebidos a partir de princípios simples e com baixos custos de investimento. O sistema anti-erro baseado na leitura óptica de códigos de barras foi relativamente simples e rápido de desenvolver e implementar em operações de maquinação com comando numérico.

O investimento efectuado na implementação do sistema é considerado baixo, tendo em consideração as vantagens obtidas (15% do valor do refugo anual).

A implementação do referido sistema permitiu garantir um processo livre de defeitos causados por erros de distração dos operadores. Por outro lado, promoveu o envolvimento pró-activo dos colaboradores, nas mudanças e no aperfeiçoamento do processo produtivo, fazendo com que todos se sentissem integrados e comprometidos com os objectivos e estratégia da organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sissonen, J.P. 2008. Poka-Yoke for mass customization. PhD. Faculty of Technology Management. Helsinki.
- [2] Juran, J.M. and A.Godfrey.1998. Juran's Quality Handbook. Fifth Edition. USA: McGraw-Hill
- [3] Chase, Jacobs, Aquilano. 2004. Administração da produção para a vantagem competitiva – 10ª edição. São Paulo: Artemed Editora S.A..
- [4] Moore, R. (2007). Understand the manufacturing problems before selecting the right tool to fit It. Plant Engineering.1:17-18.
- [5] IndustryWeek. 2007. It's not just the shop floor. http://www.industryweek.com/articles/continuous_improvement_-_its_not_just_the_shop_floor_14991.aspx (acedido Setembro 10, 2009).
- [6] Shingo, S. 1986. Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System. Massachusetts: Productivity Press.
- [7] Tsou, J.C., Chen, J.M. 2005. Dynamic model for a defective production system with Poka-Yoke. Journal of the Operational Research Society. 56:799-803.
- [8] Shingo S. 1996. O sistema Toyota de produção, do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Artemed.
- [9] Dionísio, António. 2006. Manual da qualidade Inapal Plásticos S.A.. Leça do Balio.
- [10] Posajek, R.B. 1999. Poka-Yoke and Zero Waste. Environ. Quality Management. 2: 91-97.
- [11] Chase, R.B. and Stewart, D.M. 2002. Mistake Proofing: designing Errors Out. Edição Revista. Morrisville: John Grout.

- [12] Shimbun, Nikkan Kogyo. 1988. Poka-yoke: improving product quality by preventing defects. Massachusetts: Productivity Press.
- [13] Everyday Examples of Mistake Proofing. <http://facultyweb.berry.edu/jgrout/everyday.html>. (acedido Outubro 10,2009)
- [14] Claudia Isac, Alin Isac. (2002). Considerations of Poka-Yoke device in total quality management. Annals of the University of Petrosani. Economics. 2:102-105.
- [15] Implementação da metodologia Poka-Yoke. <http://www.profitability.pt>. (acedido Outubro 15,2009).
- [16] Karl Van Scyoc. 2008. Process safety improvement – Quality and target zero. Journal of Hazardous Materials. Houston, USA. February. 159:42-48.