

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais



FEUP

Melhoria da qualidade na conceção e desenvolvimento do produto

Marta Daniela Duarte de Araújo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professora Laura Maria Melo Ribeiro

Orientador na Empresa: Engenheiro Tiago Maria de Carvalho Cunha Brito e
Faro

Porto, Setembro 2011

CANDIDATO Marta Daniela Duarte de Araújo **Código** 060508013

TÍTULO Melhoria da qualidade na conceção e desenvolvimento do produto

DATA 23 de Setembro de 2011

LOCAL Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F103 - 16h00

PRESIDENTE Professor Doutor Manuel Fernando Gonçalves Vieira DEMM/FEUP

JÚRI ARGUENTE Professor Doutor Sérgio Dinis Teixeira de Sousa DPS/UM

ORIENTADOR Professora Doutora Laura Maria Melo Ribeiro DEMM/FEUP

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora Professora Laura Ribeiro por todo o apoio, sugestões, contributos e principalmente pela confiança depositada ao longo deste tempo.

Aos responsáveis da empresa Adira, agradeço pela oportunidade que me proporcionaram para desenvolver este trabalho nas suas instalações. Em particular para o departamento de Engenharia e em especial para o Engenheiro Tiago Faro e Engenheiro Nuno Freitas pela orientação, colaboração, disponibilidade e dedicação para a realização deste trabalho.

Não esquecendo as pessoas mais importantes para mim, agradeço aos meus pais, Arnaldo e Isabel, pelo amor incondicional depositado, confiança transmitida, dedicação e incentivo que tiveram ao longo do meu percurso escolar.

Aos meus irmãos, Mónica e Tiago, avós e namorado, João, agradeço a força, compreensão, estímulo e toda a ajuda nos momentos mais difíceis.

Por último a todos os meus amigos e colegas de curso agradeço a amizade, carinho e companheirismo vivido ao longo destes anos académicos.

Obrigado por todo o apoio e colaboração.

Resumo

Este trabalho foca-se na melhoria da qualidade de processos na empresa Adira, em especial, na aplicação da metodologia FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos) no processo de concepção e desenvolvimento de novos produtos. Inicialmente descreve-se a metodologia de implementação, principais benefícios e limitações bem como a sua evolução e os tipos de FMEA. Permitindo, esta ferramenta de melhoria, melhorar a fiabilidade dos produtos através da análise de potenciais falhas e efeitos e identificação das respectivas causas, de modo a implementarem-se acções para reduzir e/ou eliminar essas falhas, efectuou-se uma análise para dois novos produtos. No decorrer da análise FMEA, de modo a auxiliar e enriquecer a mesma, necessitou-se de encontrar potenciais falhas ao nível interno e externo à empresa e deparou-se com o problema da falta de informação. Devido à importância da utilização de sistemas de informação na implementação do FMEA propôs-se alterações na recolha de informação e novos métodos de classificação de falhas. Após a análise realizada e as acções de melhoria executadas, verificou-se, para o caso da célula de quinagem de postes, que houve uma diminuição do valor de risco conseguindo assim melhorar o produto final. Com a aplicação desta metodologia também pode-se concluir que a mesma traz vantagens para a empresa, designadamente, constitui um procedimento mais lógico e estruturado para analisar as falhas, porém também tem algumas restrições, designadamente, a classificação dos índices ser um pouco subjectiva. Por outro lado, o cálculo de RPN só tem utilidade para dar prioridade às acções não trazendo muito valor quando a análise apresenta poucas falhas. De referir ainda que cada modo de falha é avaliado de forma independente, não permitindo estabelecer uma correlação e interacção entre os modos ou causas de falha.

Abstract

This work focuses on improving the quality of processes in the company Adira, particularly on the application of the FMEA methodology (analysis of failure modes and effects) in the process of designing and developing new products. Initially we describe the implementation methodology, main benefits and limitations as well as its evolution and the types of FMEA. With this specific tool, we can improve the trust in products by just analyzing the potential failures and determine the effects and causes in order to apply actions which ensure the decrease and/or elimination of these failures. Two new products were tested. During the FMEA analysis, to help and enrich it, it was needed to find potential failures within the company as also outside of it and was faced with a problem of lack of information. The importance of using information systems in FMEA is such that it was proposed several alterations in the way the information is collected. After the analysis and improvement actions were carried out, it was found for the case of bending of the cell poles, that there was a decrease in the value of risk so that could be an improvement of the final product. By applying this methodology can also be concluded that the same brings advantages for the company, in particular, it is a more logical and structured procedure to analyze the failures, but also has some restrictions, namely the classification of the indexes is a bit subjective. On the other hand, the calculation of RPN is only useful to prioritize the actions, not bringing much value as the analysis shows very few flaws. Note also that each failure mode is assessed independently, failing to establish a correlation and interaction between modes or causes of failure.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas.....	ix
Listas de Abreviaturas e de símbolos (Siglas).....	x
Capítulo I - Introdução	1
1.1. FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos.....	2
1.2. Desenvolvimento do FMEA.....	3
1.3. Tipos de FMEA.....	3
1.3.1. FMEA do Produto.....	4
1.3.2. FMEA do Processo	5
1.4. Metodologia FMEA	6
1.4.1. Selecção do sistema e dos componentes.....	8
1.4.2. Definir a equipa	8
1.4.3. Identificar as funções, os requisitos e especificações	8
1.4.4. Identificar Potencial(is) Modo(s) de Falha	9
1.4.5. Identificar Potencial(is) Efeito(s) da Falha. Índice de Gravidade.....	9
1.4.6. Identificar Potencial(is) Causa(s) da Falha. Índice de Ocorrência.....	10
1.4.7. Identificação dos controlos. Índice de detecção	11
1.4.8. Cálculo do número de prioridade de risco: RPN - Risk Priority Number.....	11
1.4.9. Selecção das acções de melhoria	12
1.5. Documento FMEA.....	12
1.6. Limitações	15
Capítulo II - Aplicação do FMEA na empresa Adira.....	16
2.1. Breve apresentação da empresa	16
2.2. Estrutura organizacional.....	18
2.3. Descrição do problema e objectivos.....	19
2.4. Desenvolvimento do FMEA de dois produtos novos.....	20
2.4.1. Identificação das falhas internas e respectivas causas.....	22
2.4.1.1. Sistema de informação actual	22
2.4.1.2. Problemas identificados.....	22
2.4.1.3. Melhorias propostas para os problemas identificados.....	23

2.4.2. Identificação das falhas externas e respectivas causas.....	25
2.4.2.1. Sistema de informação actual	25
2.4.2.2. Problemas identificados.....	26
2.4.2.3. Melhorias propostas para os problemas identificados.....	28
2.4.3. <i>Brainstorming</i> para identificação de potenciais falhas	31
2.4.4. Controlos, índice de risco e acções.....	32
2.5. O FMEA de uma célula de quinagem para postes metálicos	32
2.6. O FMEA de uma célula de quinagem para produtos diversos.....	36
Capítulo III - Conclusões.....	42
Bibliografia	43

Lista de figuras

Figura 1 - Classificação do tipo de FMEA segundo Stamatis.

Figura 2 - Fluxograma geral da metodologia FMEA.

Figura 3 - Exemplo de um documento FMEA.

Figura 4 - Exemplo de: a) guilhotina (GH "Versátil") e b) máquina de corte por laser (LP "Premium").

Figura 5 - a) Quinadoras (PM Guimadira) e b) célula de quinagem.

Figura 6 - Produtos personalizados: a) quinadora com sistema de apoio de chapas, b) quinadora Tandem.

Figura 7 - Fluxograma de análise de falhas.

Figura 8 - Célula de quinagem e alimentador de chapa.

Figura 9 - Protótipo da GreenBender.

Figura 10 - Documento FMEA com o template da empresa.

Figura 11 - Documento "Manter Não-Conformidade".

Figura 12 - Tabela para registo de falhas.

Figura 13 - Dados a preencher quando é aberta uma OAT.

Figura 14 - Semelhança de um excerto das listas de Problemas e Sintomas.

Figura 15 - Dados a preencher quando é fechada uma OAT.

Figura 16 - Exemplos de solução do Problema.

Figura 17 - Potencial modo de falha: chapa posiciona-se numa esquina do dedo.

Figura 18 - Poste em volta da ferramenta.

Lista de tabelas

Tabela 1 - Documentos necessários para uma análise FMEA.

Tabela 2 - Índices de Gravidade da norma IEC 60812 adaptados à empresa Adira.

Tabela 3 - Índices de Ocorrência adaptados à empresa Adira.

Tabela 4 - Índices de Detecção da norma IEC 60812 adaptados à empresa Adira.

Tabela 5 - Critério de prioridade.

Tabela 6 - Descrição do documento FMEA.

Tabela 7 - Lista de classes de Problemas.

Tabela 8 - Lista de possíveis Sintomas.

Tabela 9 - Lista de possíveis Soluções.

Tabela 10 - Análise FMEA realizada para o produto "Célula de quinagem de postes".

Tabela 11 - Análise FMEA realizada para o produto "Quinadora GreenBender".

Listas de Abreviaturas e de símbolos (Siglas)

FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos.

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.

EMAF - Exposição Internacional de Máquinas-Ferramenta e Acessórios.

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

OAT - Ordem assistência técnica.

Capítulo I - Introdução

Este trabalho aborda a melhoria da qualidade de processos na empresa Adira, focando, em especial, na aplicação da metodologia FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos) no processo de concepção e desenvolvimento de novos produtos. Esta ferramenta de melhoria permite melhorar a fiabilidade dos produtos através da análise de potenciais falhas e efeitos e identificação das respectivas causas, de modo a implementarem-se acções para reduzir e/ou eliminar essas falhas.

Este trabalho foi escrito e estruturado em três capítulos. Neste primeiro capítulo descreve-se o estado actual do FMEA. Analisa-se a sua evolução, a metodologia e os tipos de FMEA existentes bem como as dificuldades e os benefícios resultantes.

No segundo capítulo apresenta-se o caso de estudo, descreve-se com pormenor o problema tratado, apresenta-se a metodologia utilizada e os resultados alcançados. Finalmente, no último capítulo, expressam-se as conclusões.

Nos dias de hoje, qualquer empresa para garantir a sua sobrevivência e aumentar a sua competitividade vê-se confrontada com a necessidade de melhorar os processos e produtos existentes. Alterações para corrigir defeitos a produtos existentes de modo a melhorar o desempenho dos mesmos, ou alterações para cumprir novos requisitos do cliente, na maioria das vezes, originam o desenvolvimento de novos produtos [1,2]. Porém as mudanças realizadas nos projectos já existentes podem introduzir novas potenciais falhas no produto capazes de provocar grandes perdas tanto para a empresa como para o cliente. Refira-se que a insatisfação dos clientes pode comprometer a imagem da empresa e consequentemente as vendas, para além dos produtos defeituosos terem de ser reparados ou substituídos levando a maiores impactos financeiros e ambientais. Com isto, uma das distinções das melhores empresas baseia-se no lançamento de novos produtos mais rápido, satisfazendo os requisitos e com menor número de falhas [1,2].

Uma das técnicas utilizadas pelas empresas para detectar falhas potenciais do produto ou processo na fase inicial do seu desenvolvimento é o FMEA. O FMEA tem como metodologia investigar os modos, efeitos e causas das potenciais falhas, avaliar o risco de cada modo de falha e identificar acções correctivas para evitar a ocorrência bem como consequências das mesmas. Esta análise preventiva pode proporcionar uma diminuição da quantidade de alterações no projecto, de testes e

protótipos (de avaliação e validação) necessários para o desenvolvimento de um produto. Além disso, obtém-se benefícios financeiros pois o custo para realizar uma modificação aumenta exponencialmente com o decorrer do processo de desenvolvimento dos produtos [1,2].

1.1. FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos

Para *Stamatis* [3], o FMEA é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar conhecidas e/ou potenciais falhas, problemas ou erros do sistema, concepção, processo e/ou serviço antes de chegar ao cliente. *McDermott et al.* [4] acrescentam ainda que o FMEA ao focar-se na prevenção de defeitos aumenta a segurança do produto e a satisfação dos clientes.

Esta ferramenta caracteriza-se por:

- ser uma ferramenta para prevenir problemas;
- aplicar-se no desenvolvimento de novos projectos/processos;
- ser um diário do produto, processo e serviço.

Como ferramenta, o FMEA é considerado a técnica mais eficaz para antever problemas e identificar as soluções mais rentáveis para prevenir esses problemas. Como procedimento, fornece uma abordagem estruturada para avaliar, acompanhar e actualizar o desenvolvimento da concepção de produtos ou processos. Enquanto diário, o FMEA é iniciado na concepção do produto, processo ou serviço e é mantido durante toda a vida do produto, sendo chamado de documento "vivo" porque é permanentemente actualizado [3,5].

Nas empresas esta metodologia proporciona um registo sistemático de modos de falhas dos produtos/processos, auxilia no conhecimento dos problemas nos produtos/processos diminuindo assim os custos por meio de prevenção de ocorrência de falhas e incorpora dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipa e a preocupação com a satisfação dos clientes [6].

Para *Stamatis* [3] a análise FMEA deve ser realizada quando são projectados novos produtos ou processos, quando se fazem alterações a produtos ou processos existentes, quando se encontram novas aplicações para os produtos ou processos ou quando se pretende melhorar os produtos ou processos existentes.

De modo de obter o máximo benefício do FMEA, esta técnica deve ser implementada no início da etapa de desenvolvimento do projecto, quando a equipa está a trabalhar a partir de um conceito ou do desenho preliminar de modo a evitar a

ocorrência de falhas [5]. Porém, quando executado em produtos e processos já existentes traz igualmente resultados positivos e substanciais [4].

1.2. Desenvolvimento do FMEA

O FMEA surgiu aproximadamente nos anos 50, com a finalidade de identificar e analisar os modos e efeito de falha e a sua criticidade em equipamentos militares na indústria aeronáutica e militar [6].

Nos meados dos anos 60, foi realizado o primeiro FMEA formal na indústria aeroespacial, especificamente focado para questões de segurança, tornando-se, pouco tempo depois, uma ferramenta essencial para melhorar a segurança, especialmente nas indústrias químicas [4].

Nos finais dos anos setenta, depois da indústria automóvel ter adoptado a técnica FMEA como uma ferramenta de melhoria da qualidade, esta ferramenta transforma-se num instrumento indispensável para os fornecedores desta indústria em simultâneo com a norma ISO/TS 16949 [4,7].

Actualmente o FMEA é utilizado em diversas indústrias, como por exemplo, indústrias de componentes, farmacêuticas e serviços como é o caso de hospitais [8].

1.3. Tipos de FMEA

A classificação do tipo de FMEA varia dependendo da fonte, havendo portanto alguma diversidade, porém independentemente do tipo de FMEA, o modo de realizar a análise e as etapas do FMEA são as mesmas apenas existindo diferenças no objectivo de cada um.

Segundo *Stamatis* [3] o FMEA é classificado em quatro tipos: FMEA do sistema, FMEA do projecto, FMEA do processo e FMEA do serviço; como se pode ver na figura 1, estes quatro tipos têm como foco minimizar o efeito das falhas maximizando a qualidade final em áreas distintas. Porém, para *McDermott et al.* e *Palady* [4,5] bem como a indústria automóvel, o FMEA divide-se em FMEA do produto e FMEA do processo.

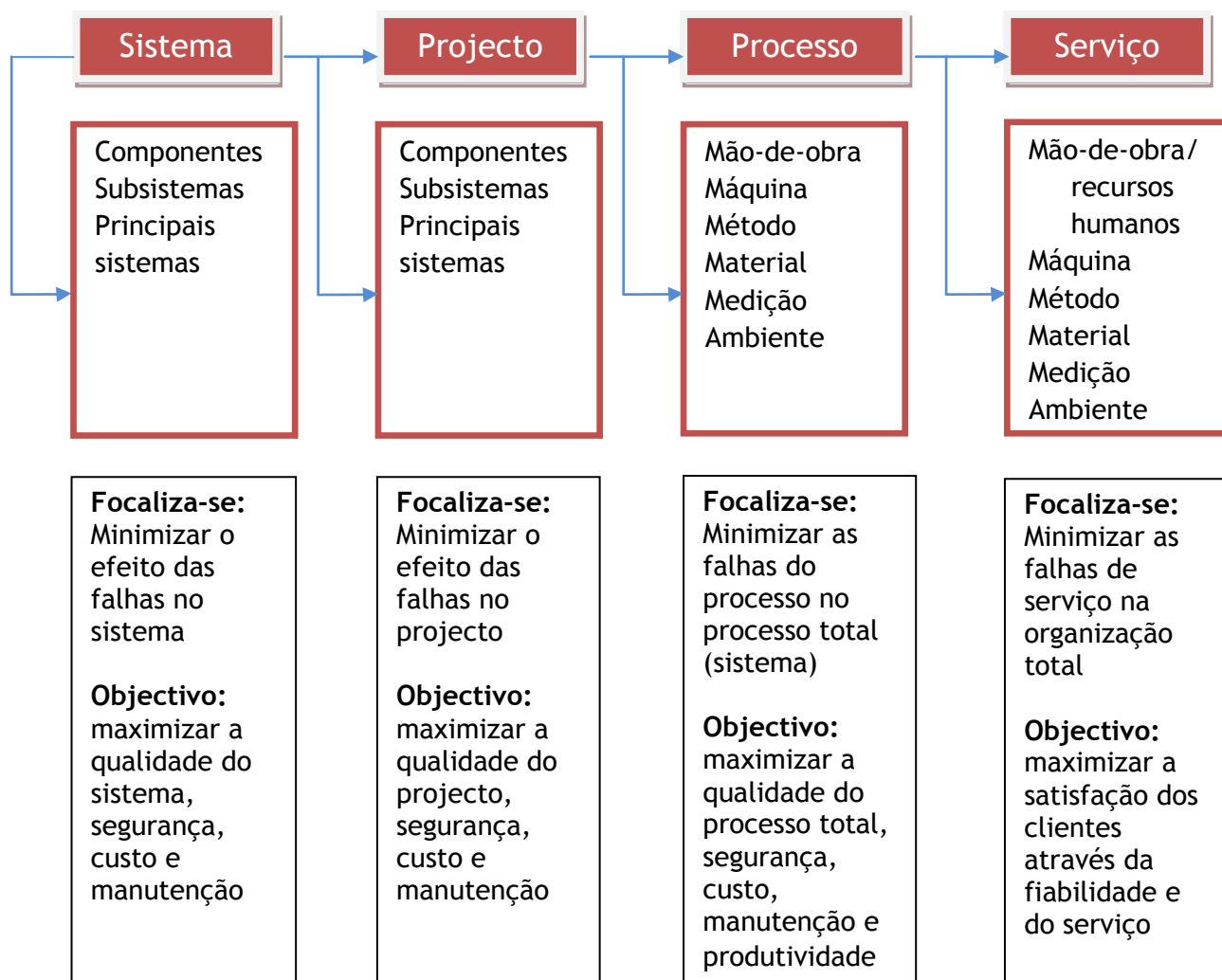


Figura 1 - Classificação do tipo de FMEA segundo Stamatis [3].

1.3.1. FMEA do Produto

No FMEA do produto o objectivo é descobrir problemas no produto derivados do projecto que podem resultar em riscos de segurança, mau funcionamento do produto, ou num ciclo de vida mais abreviado. Este tipo de FMEA analisa como um componente, subsistema ou sistema projectado pode falhar, baseado na experiência e em problemas passados. Considera-se que, no FMEA do produto, as causas de falha provêm de problemas no projecto do produto (mau dimensionamento, má especificação de material, etc.) [4,9].

O FMEA do produto (também denominado FMEA do projecto) dá suporte ao desenvolvimento do produto, reduzindo os riscos de falhas pois:

- auxilia na avaliação objectiva dos requisitos do projecto e de soluções alternativas;
- considera os requisitos da produção e montagem no projecto inicial;

- aumenta a probabilidade dos potenciais modos de falha e efeitos serem considerados durante o desenvolvimento do projecto;
- identifica todos os potenciais modos de falha classificados de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo assim um sistema de prioridade de melhorias a introduzir durante o projecto e ensaios de desenvolvimento;
- proporciona um modo de documentação para o estudo das acções de redução de risco que devem ser implementadas;
- proporciona dados para auxiliar na análise de problemas futuros [4];

O FMEA do produto pode ser realizado em qualquer fase do processo de projecto (design preliminar, protótipo ou projecto final), ou em produtos que já estão em produção. Segundo *McDermott et al.* [4], esta análise assenta na investigação/procura das respostas à pergunta-chave: *como é que o produto pode falhar?*

O cliente de um FMEA do produto não é apenas o utilizador final, mas também os engenheiros e as equipas responsáveis pelo projecto das operações seguintes, e/ou os engenheiros responsáveis pelo processo de produção, montagem e assistência técnica [8].

Idealmente, o FMEA do produto deve estar concluído quando se finaliza o projecto [7].

1.3.2. FMEA do Processo

No FMEA do processo o objectivo da análise é evitar as falhas provenientes do processo de fabrico. Esta análise é feita ao longo do desenvolvimento dos processos [4,8].

Durante a realização do FMEA do processo é útil orientar a análise para os cinco elementos principais de um processo: pessoas, materiais, equipamentos, métodos e meio ambiente. Sendo a pergunta chave: *como é que a falha do processo pode afectar o produto, a eficiência do processo, ou a segurança do operador e cliente?* [4].

Este tipo de FMEA permite então:

- identificar os potenciais modos de falha do processo que afectam o produto;
- avaliar os potenciais efeitos das falhas no cliente;
- identificar as potenciais causas de falha do processo de fabrico ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para reduzir a ocorrência das falhas ou melhorar a detecção das mesmas;

- classificar os potenciais modos de falha, estabelecendo um sistema de prioridade para a implementação das acções de melhoria;
- eliminar deficiências no processo e conseqüentemente reduzir a produção de produtos não-conformes [7,8].

O cliente de um FMEA do processo pode ser o utilizador final, mas também uma operação subsequente do processo de produção, uma operação de montagem, ou uma operação de assistência técnica [8].

Esta análise deve ser iniciada durante a etapa de validação do projecto do produto/processo, e durante o desenvolvimento das ferramentas para a produção, considerando todas as operações do processo, desde a matéria-prima até o produto final [9].

1.4. Metodologia FMEA

De modo a garantir uma implementação eficaz do FMEA deve nomear-se um responsável pelo mesmo. Este líder deve ser responsável por coordenar o processo, incluindo a realização e dinamização de reuniões, garantir os recursos necessários e certificar-se que a equipa está a progredir em direcção ao objectivo do FMEA. A pessoa que lidera para além de ter a última palavra nas decisões finais é também responsável por manter os registos do FMEA. Na tabela 1 pode-se ver alguns dos documentos que o líder deve reunir, conforme o FMEA a realizar [4].

Tabela 1 - Documentos necessários para uma análise FMEA [10].

FMEA de Produto	FMEA de Processo
<ul style="list-style-type: none"> • Lista de componentes • Desenhos • Resultados de ensaios • FMEA's de produtos similares • FMEA's já realizados para o produto 	<ul style="list-style-type: none"> • Lista de produtos • FMEA de produto • Desenhos de fabricação • Planos de inspecção • Estatísticas de falhas do processo • Estudos de capacidade de máquinas

Seguidamente pode-se observar o fluxograma (ver figura 2) com as diferentes etapas do processo FMEA e uma explicação detalhada do que se pretende em cada uma destas etapas.

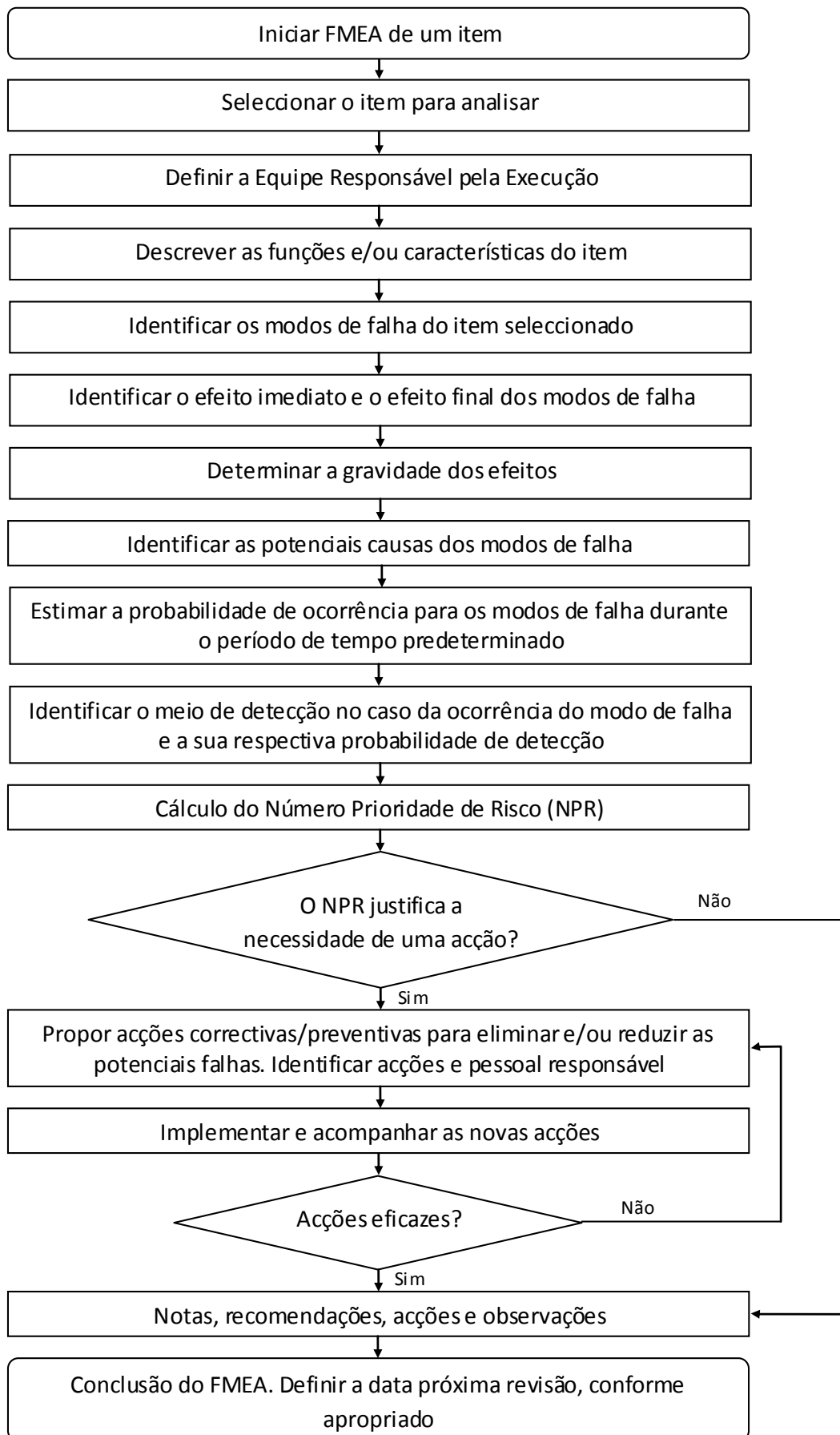


Figura 2 - Fluxograma geral da metodologia FMEA [11].

Antes de se iniciar o FMEA, deve-se definir o âmbito em que este deve ser realizado de modo a ser claro o que está a ser avaliado. O âmbito estabelece os limites do que está incluído e excluído do FMEA, ou seja, o sistema, subsistema ou componente [9].

1.4.1. Selecção do sistema e dos componentes

Numa primeira fase é necessário identificar o produto ou o processo a analisar. Se necessário, também é possível estudar apenas um sistema ou componente do produto/processo em análise.

1.4.2. Definir a equipa

Embora seja definido uma pessoa responsável por coordenar o processo FMEA, é necessário criar uma equipa para desenvolver a análise FMEA [4].

Segundo *Stamatis* [3], a equipa é um grupo de indivíduos que estão comprometidos com os objectivos organizacionais, que se encontram regularmente para identificar e resolver os problemas e melhorar o processo e que trabalham e interagem em conjunto de forma aberta e eficaz.

A equipa é escolhida conforme o produto ou processo em análise e é necessária para fornecer diferentes perspectivas e experiências para a análise em curso. Esta equipa não deve ser seleccionada para todos os FMEA's mas apenas para um FMEA específico [4].

Quanto ao tamanho da equipa, este deve ser controlado pois uma equipa grande certamente trás mais informação porém também acarreta mais custos e aumenta o tempo para terminar o FMEA e gerir a equipa [5]. Assim, a equipa deve ser constituída por 4 a 6 pessoas, porém, este número deve ser ditado pelo número de áreas envolvidas no FMEA. Cada área, desde da fabricação, engenharia, manutenção, materiais, à assistência técnica e até mesmo o cliente, devem estar representadas, pois cada um tem uma perspectiva diferente. Esta equipa também deve ser constituída por pessoas em diferentes níveis de familiaridade com o produto ou processo; quem está mais familiarizado tem informações mais valiosas mas poderá esquecer-se dos problemas mais óbvios que são sentidos pelas pessoas menos familiarizadas [4].

1.4.3. Identificar as funções, os requisitos e especificações

A equipa pode fazer um *brainstorming* para identificar e entender as funções, requisitos e especificações relevantes do produto/processo para satisfazer o cliente.

Esta identificação auxilia mais tarde a etapa de determinação do potencial modo de falha [5,9].

Por vezes, verificam-se alguns problemas na identificação de algumas funções ou na descrição da função. Esta incapacidade de identificar todas as funções de modo conciso e exacto do projecto/produto é provável que resulte numa lista incompleta dos modos de falha [5,9].

1.4.4. Identificar Potencial(is) Modo(s) de Falha

Nesta etapa pretende-se descrever como é que o projecto ou processo poderá deixar de executar a função [5]. É feita uma suposição das falhas que podem ocorrer [5,9].

A definição da falha deve ser concisa, compreensível e em termos técnicos. Se existir um grande número de modos de falhas pode significar que os requisitos não estejam devidamente definidos [5].

1.4.5. Identificar Potencial(is) Efeito(s) da Falha. Índice de Gravidade

Os potenciais efeitos de falha são definidos como as consequências do modo de falhas ou os efeitos percebidos pelo cliente [5,9]. A equipa não pode esquecer os efeitos já experienciados ou observados pelo cliente. Esta informação pode ser retirada de pesquisas de marketing, estudos de benchmarking, estudos de funções de qualidade, relatórios de garantia e reclamações reportadas pelo cliente [5].

Após identificados os efeitos das falhas é atribuído um número do índice de gravidade. Este índice mede o nível de impacto de uma falha no cliente através de uma escala de 1 a 10 em que o número 1 equivale a um efeito que não é perceptível pelo cliente enquanto o número 10 reflecte as piores consequências possíveis ou efeitos resultantes do modo de falha [5,9].

As definições dos índices de gravidade devem ser específicos da empresa em questão, sendo a tabela a seguir apresentada da norma IEC 60812 e adaptada para a empresa Adira (empresa em estudo).

Tabela 2 - Índices de Gravidade da norma IEC 60812 adaptados à empresa Adira [11].

Gravidade	Critério	Classificação
Nenhum	Nenhum efeito perceptível.	1
Muito pequeno	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado por clientes exigentes (menos de 25%).	2
Pequeno	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado por 50% dos clientes.	3

Continua na página seguinte

Gravidade	Critério	Classificação
Muito baixo	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais de 75%).	4
Baixo	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente um pouco insatisfeito.	5
Moderado	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	6
Alto	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	7
Muito Alto	Processo/produto inoperável (perde a função primária).	8
Perigoso Com Aviso	Classificação da gravidade muito alto, quando um potencial modo de falha afecta a operação segura do processo/produto e /ou envolve não-conformidade com a regulamentação governamental, com aviso prévio.	9
Perigoso Sem Aviso	Classificação da gravidade muito alto, quando um potencial modo de falha afecta a operação segura do processo/produto e /ou envolve não-conformidade com a regulamentação governamental, sem aviso prévio.	10

1.4.6. Identificar Potencial(is) Causa(s) da Falha. Índice de Ocorrência

Existe uma relação directa entre uma causa e modo de falha resultante, ou seja, se a causa ocorre então o modo de falha ocorre. Logo neste passo, deve-se referir todas as possíveis causas ou motivos pelos quais os modos de falha podem ocorrer [5]. A identificação da raiz da causa do modo de falha, em detalhe suficiente, permite a identificação de controlos adequados e planos de acção [9].

De modo a quantificar a frequência com que a causa de um modo de falha pode ocorrer utiliza-se o índice de ocorrência. Este varia entre 1 e 10 em que o número 1 corresponde a uma ocorrência muito improvável e 10 a uma ocorrência alta. Na tabela 3 apresentam-se os índices de ocorrência adaptados com base nos dados da empresa em estudo.

Tabela 3 - Índices de Ocorrência adaptados à empresa Adira [5].

Ocorrência	Critério	Classificação
Extremamente remota, altamente improvável	≤ 1 em 200	1
Remota, improvável	1 em 200	2
Probabilidade muito reduzida	1 em 150	3
Probabilidade reduzida	1 em 100	4
Número ocasional	1 em 50	5
Moderada	1 em 20	6
Frequente	1 em 10	7
Elevada	1 em 5	8
Muito Elevada	1 em 3	9
Certa	≥ 1 em 2	10

1.4.7. Identificação dos controlos. Índice de detecção

Os controlos são as actividades que previnem ou detectam as causas das falhas ou dos modos de falha e estes tanto são aplicados na altura da concepção do produto como no processo de fabricação [9].

Não sendo possível prever todos os potenciais problemas, os controlos são muitas vezes colocados estrategicamente no processo de desenvolvimento do projecto e processo de fabricação para encontrar qualquer um desses problemas que não foram previstos pela equipa e evitar o respectivo avanço [5].

Para identificar os controlos a equipa deve identificar os métodos utilizados para detectar cada modo de falha ou a causa correspondente. Depois de conhecidos e identificados os controlos actuais são atribuídos os índices de detecção. A detecção é uma avaliação da capacidade dos controlos do produto ou processo de detectarem a causa da falha ou modo de falha em questão [5,9].

A escala do índice de detecção varia entre 1 e 10, sendo 1 quando os controlos têm uma eficácia de 100%, ou seja, é quase certo que detecta o modo de falha e 10 quando é impossível os controlos detectarem o modo de falha (ver tabela 4).

Tabela 4 - Índices de Detecção da norma IEC 60812 adaptados à empresa Adira [11].

Detecção	Critério	Classificação
Quase certo	Os controlos certamente detectarão potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha.	1
		2
Alta	Possibilidade elevada dos controlos detectarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha.	3
		4
Moderada	Possibilidade moderada dos controlos detectarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha.	5
		6
Muito Baixa	Possibilidade muito baixa dos controlos detectarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha.	7
		8
Quase impossível/ Nula	Os controlos não detectam potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha ou não há controlo do projecto.	9
		10

1.4.8. Cálculo do número de prioridade de risco: RPN - Risk Priority Number

Um passo importante no FMEA é a avaliação do risco. Esta avaliação faz-se através do cálculo da multiplicação dos índices de Gravidade, Ocorrência e Detecção resultando um número compreendido entre "1" e "1000". Quanto maior o valor, maior é a necessidade de se estabelecer as acções correctivas ou preventivas para esses problemas. Porém outros estudos referem que se deve dar prioridade a todos os modos de falha em que o índice de gravidade seja igual ou superior a 9, de seguida

os modos de falha com o índice de gravidade e ocorrência mais elevados e finalmente os modos de falhas com maior número de RPN. Na tabela a baixo pode-se analisar um critério para definir a prioridade com base no número de RPN [5].

Tabela 5 - Critério de prioridade [12].

Critério de prioridade para realizar uma acção	Índice de Risco
Prioridade Alta	
Item vulnerável e importante. Requer acções correctivas ou preventivas	acima de 100
Prioridade Média	
Item importante e vulnerável. Requer acções correctivas ou preventivas num curto prazo	50 a 100
Prioridade Baixa	
Item pouco vulnerável. Podem ser tomadas acções correctivas ou preventivas no longo prazo	1 a 50

1.4.9. Selecção das acções de melhoria

Estas acções servem para reduzir a gravidade/consequência do potencial modo de falha, reduzir a ocorrência do potencial modo de falha, aumentar a probabilidade de detectar as potenciais causas e proporcionar uma detecção/aviso antecipado para os potenciais modos de falha de grande gravidade [5].

Para decidir e tomar as melhores acções deve-se aceder aos requisitos do projecto, rever os desenhos de engenharia e especificações e analisar FMEAs relacionados, planos de controlo e instruções de operações. Estas acções devem ser implementadas por um responsável num determinado período estabelecido.

Uma vez as acções concluídas, de acordo com os resultados obtidos, é necessário proceder a uma nova classificação dos índices de gravidade, ocorrência e detecção [9].

1.5. Documento FMEA

A análise executada deve ser registada num documento FMEA. Devido a existência de vários formatos e versões do documento FMEA, deve-se seleccionar ou mesmo criar um documento que melhor se adapte à empresa [5]. É importante reunir o máximo de informação necessária para o cabeçalho do FMEA pois como já referido anteriormente o FMEA é como um diário do produto ou do processo. Na figura 3 pode-se observar um exemplo de um documento FMEA.

FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos
--

FMEA de Produto / Processo 1	Elaborado por: 4	Data: 7
Produto Final: 2	Número FMEA: 5	Equipa responsável: 8
Item: 3	Último FMEA realizado: 6	

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito da Falha	G	Potencial Causa da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	G	O	D	NPR
------	--------	-------------------------	---------------------------	---	--------------------------	---	-------------------	---	-----	---------------------	---------------------	-----------------	---	---	---	-----

Figura 3 - Exemplo de um documento FMEA [4,5,11].

Para melhor entendimento do que se pretende em cada campo do cabeçalho, associou-se um número e correspondeu-se uma definição:

1. **FMEA de Produto / Processo:** escolher se é um FMEA dum produto ou de um processo;
2. **Produto Final:** colocar o nome do produto final a ser estudado;
3. **Item:** apenas é preenchido quando se pretende fazer o estudo de um só item/componente;
4. **Elaborado por:** nome da pessoa responsável pelo desenvolvimento do FMEA;
5. **Número FMEA:** inserir o número sequencial do FMEA tendo em conta os anteriores;
6. **Último FMEA realizado:** o número e a data em que foi realizado o último FMEA;
7. **Data:** data em que este FMEA começou a ser realizado;
8. **Equipa responsável:** conjunto de pessoas envolvidas no desenvolvimento do FMEA [5,11]

Na tabela 6 pode-se analisar um pequeno resumo de cada campo do documento FMEA.

Tabela 6 - Descrição do documento FMEA [10].

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(is) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(is) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas
Processo ou produto objecto da análise.	Função e/ou características que devem ser atendidas pelo processo/ produto.	Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas.	Efeitos (consequências) do modo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente.	Indicação de um índice para avaliar a gravidade do efeito da falha. (1 a 10)	Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em estudo.	Indicação de um índice para avaliar a probabilidade da falha ocorrer. (1 a 10)	Medidas preventivas e de detenção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos processos / produtos da empresa.	Indicação de um índice para avaliar se a falha é visível para o cliente. (1 a 10)	Resultado da multiplicação dos índices (S x O x D) para priorizar o modo de falha que tem maior impacto no processo / produto. (1 a 1000)	Acções recomendadas para diminuir os riscos.

1.6. Limitações

A metodologia FMEA induz muitos benefícios porém, como todas as ferramentas, na prática o FMEA também apresenta algumas limitações. Seguidamente estão enumeradas algumas dessas limitações:

- A eficiência do FMEA depende da qualidade da equipa FMEA (os modos de falha que os analistas não consideram por esquecimento ou desconhecimento são analisados apenas depois de acontecerem) [13,14];
- A falta de conhecimento da equipa pode provocar uma análise FMEA muito extensa acarretando assim gastos de tempo excessivos [14];
- A equipa deve ser constituída também por operadores experientes pois estes têm boas informações sobre os modos de falha e sobre a eficácia dos sistemas de controlo [14];
- Uma análise de sistemas complexos pode-se tornar demasiado trabalhosa e difícil de gerir, consumindo bastante tempo [11];
- A análise considera os modos de falha independentes e não conduz à análise da correlação e interacção entre os modos ou causas de falha (por exemplo dois modos de falha aparentemente sem gravidade ao interagirem entre si podem provocar efeitos graves [15,11];
- Exige um compromisso muito forte entre o líder e a equipa para se garantir os melhores resultados [15];
- A determinação do RPN é um processo que fornece uma estimativa subjectiva pois as classificações dos índices dependem de quem classifica [5,13];
- Quando a prioridade é atribuída inicialmente a partir dos valores de gravidade e ocorrência, o RPN pode não trazer valor acrescido pois a informação importante encontra-se na classificação individual dos índices parciais [5,13];
- Quando a análise recai sobre as falhas de um componente de um produto, pode-se perder a visão global do produto [13];
- Se o FMEA não for iniciado na fase de concepção, a sua eficácia diminui [14];
- O FMEA é uma ferramenta que apenas estabelece a prioridade de acções de melhoria, não eliminando os modos e efeitos da falha [14].

Capítulo II - Aplicação do FMEA na empresa Adira

2.1. Breve apresentação da empresa

A Adira é uma empresa certificada do ponto de vista de Qualidade que se dedica ao desenvolvimento, concepção, fabrico e comercialização de máquinas de ferramenta. Esta empresa tem como missão "*Ouvir os clientes e fornecer soluções inovadoras, customizadas e com eficiência, para corte e conformação de chapa, ao longo de todas as etapas, proporcionando-lhes competitividade a nível mundial*". É considerada o maior fabricante ibérico de máquinas para trabalhar chapa. Visa evoluir para um nível multicontinental de modo a estar próximo dos seus clientes e assim adquirir vantagens competitivas.

Os produtos fabricados pela Adira destinam-se a indústrias que transformam chapa metálica: indústria automóvel, mobiliário metálico, construção naval, indústria aeronáutica, construção/serralharia civil, indústria eléctrica/electrónica, equipamentos de frio e AVAC, indústria de iluminação e metalomecânica em geral.

Esta empresa foi fundada em 1956 por António Dias Ramos tendo iniciado a sua actividade numa pequena oficina com cinco trabalhadores, começando por trabalhos de mecânica em geral nomeadamente pequenas reparações, adaptações e fabrico de tornos, fresadoras e máquinas de aplainar. Nos anos 60 evoluiu para o fabrico de máquinas-ferramenta, passando a fabricar limadores e tornos; em 1961 construiu a primeira guilhotina mecânica fabricada em Portugal.

O empenho na inovação e melhoria de todos os seus produtos tem sido um dos seus compromissos importantes levando até à modificação do seu logótipo de modo a conter a expressão "inovação permanente". O Prémio de Inovação ganho em 2010 na EMAF com a máquina de corte laser Adira LF ilustra o reconhecimento da sua capacidade de inovação.

Actualmente possui uma produção do tipo mono-série, agrupando os seus produtos em dois grupos: máquinas de corte de chapa e máquinas de deformação de chapa.

Entre as máquinas de corte de chapa existem as guilhotinas que cortam através de lâminas de corte (ver figura 4) e as máquinas a laser que têm como grande vantagem não necessitarem de substituir ferramentas para as diferentes operações, necessitando apenas um reajuste de programa no comando numérico. Apesar da elevada fiabilidade, têm a desvantagem de exigirem maiores consumos de gases e energia.

Quanto aos lasers existem também três modelos, como se pode ver na figura 4, divididos em LE "Efficiency", LP "Premium" e LF "Fiber".

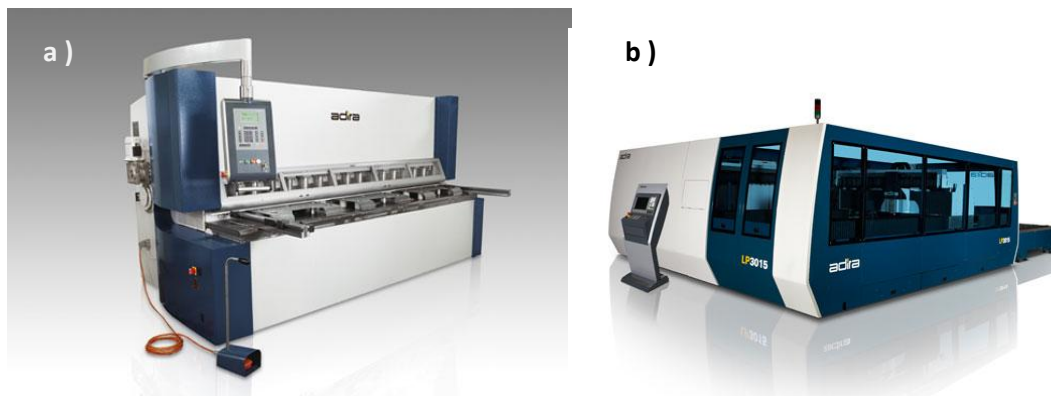


Figura 4 - Exemplo de: a) guilhotina (GH "Versátil") e b) máquina de corte por laser (LP "Premium") [16].

Para as operações de deformação existem as quinadoras que são prensas especiais para dobragem de chapa (ver figura 5).

Existe também a opção das células robotizadas de quinagem que possibilitam a substituição do operador por um sistema robótico. Estes sistemas automáticos de produção (ver figura 5) permitem aumentar a produtividade, repetibilidade e precisão nas quinagens, operação em contínuo e flexibilidade de programação.



Figura 5 - a) Quinadora (PM Guimadira) e b) célula de quinagem [16].

Para além dos produtos de base da empresa, existe a possibilidade de executar máquinas personalizadas e únicas, que cumpram os requisitos dos clientes. Um exemplo é a máquina Tandem (junção de duas máquinas que funcionam em simultâneo) capaz de trabalhar chapas de grande comprimento (ver figura 6) [17,18].

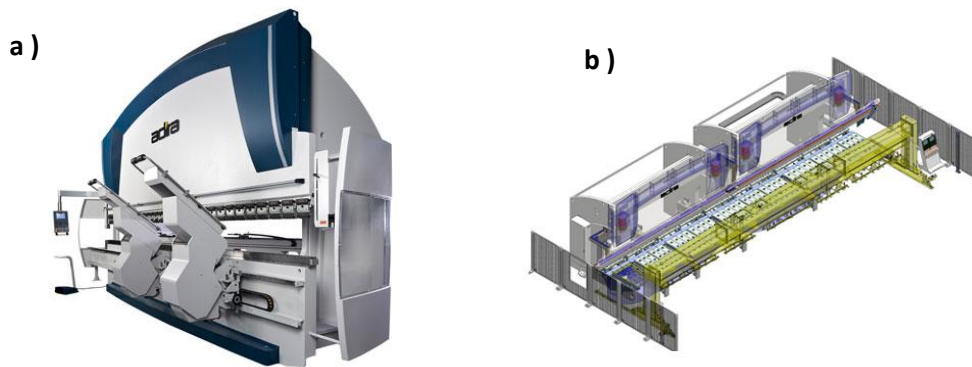


Figura 6 - Produtos personalizados: a) quinadora com sistema de apoio de chapas, b) quinadora Tandem [16].

2.2. Estrutura organizacional

A empresa Adira encontra-se dividida em vários departamentos: Concepção e Desenvolvimento, Venda, Produção, Compras e Subcontracções, Gestão de Recursos Humanos, Assistência Após Venda e Planeamento.

Seguidamente descreve-se resumidamente as principais funções dos departamentos Concepção e Desenvolvimento, Produção e Assistência Após Venda. A escolha destes departamentos deve-se ao facto do trabalho realizado ter sido direccionado para estas três áreas em especial.

A Concepção e Desenvolvimento de um produto pode-se iniciar a partir de duas condições: a pedido do cliente ou por opção interna. Depois de definir/analisar as especificações do projecto executa-se um planeamento e monitorização do projecto seguido da elaboração de cálculos e de desenhos e verificação do projecto. Se após a verificação não for necessário fazer nenhuma alteração então dá-se a aprovação do projecto senão volta-se a elaborar novos cálculos.

Após a aprovação, dá-se a informação ao Planeamento e segue-se a Produção. Nesta etapa é feita uma análise do processo de fabrico e executam-se as operações de corte e maquinagem, pré-montagem e montagem. Estas operações são realizadas com controlos da qualidade efectuados pelo operador. No final são realizados ensaios/inspecções e em caso de conformidade é feita a expedição do produto.

Quanto à Assistência Técnica, esta pode ser realizada nas instalações da Adira (para reparação de ferramentas, máquinas ou elementos de máquinas e venda de peças sobresselentes ou acessórios) e nas instalações do cliente (para instalação de máquinas, formação e manutenção correctiva e preventiva). Quando a intervenção é realizada no cliente é necessário abrir uma ordem de assistência técnica (OAT), sendo posteriormente preparada e realizada a intervenção e por fim analisados os resultados e facturação.

2.3. Descrição do problema e objectivos

O trabalho realizado teve como objectivo a elaboração da análise FMEA de dois novos produtos da empresa com a finalidade de prevenir a ocorrência de possíveis falhas. Depois de escolhidos os dois produtos foi seleccionada a equipa para cada uma das análises, sendo estas compostas por engenheiros do projecto e da produção e por técnicos específicos.

Devido à empresa nunca ter elaborado um FMEA e consequentemente devido a uma falta de conhecimento e experiência da equipa, nesta fase inicial da implementação, foi explicado a metodologia FMEA, a sua finalidade bem como as vantagens para a empresa. Foi também elaborado um fluxograma (ver figura 7) de modo a traduzir de forma visual os momentos em que se deve realizar uma análise FMEA.

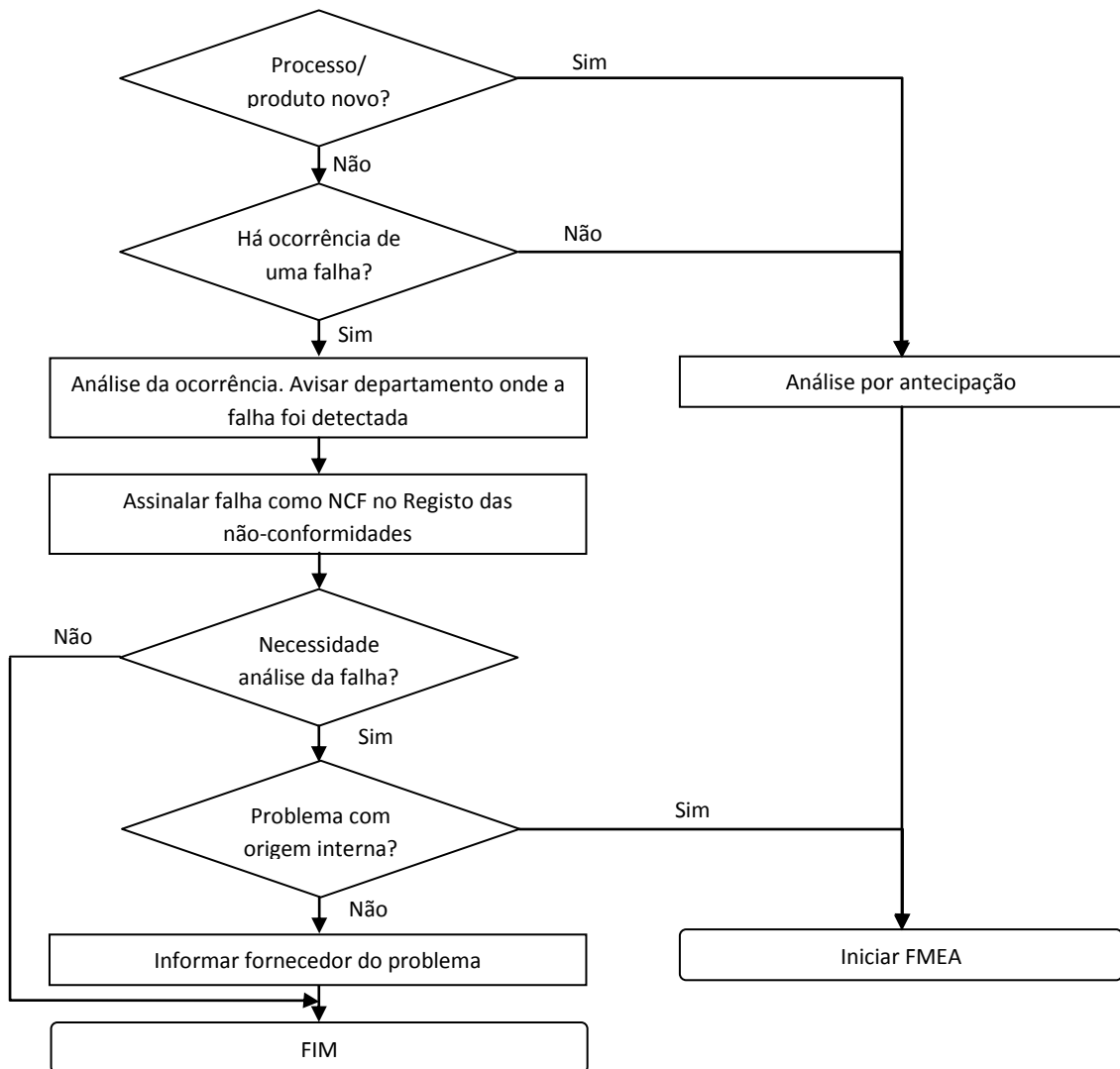


Figura 7 - Fluxograma de análise de falhas.

Este fluxograma foi utilizado para efeito de formação dos intervenientes no processo. Este fluxograma demonstra que o desenvolvimento de uma análise de falhas deve ser realizado tanto para produtos/processos novos sem ocorrência de falhas bem como quando há necessidade de analisar falhas com origem interna que ocorreram em processos/produtos já lançados. As falhas provenientes de uma origem externa devem ser comunicadas ao fornecedor de modo a responsabilizar alguém pela solução do problema.

2.4. Desenvolvimento do FMEA de dois produtos novos

Os novos produtos em análise são duas células de quinagem de chapa: uma célula de quinagem para o fabrico de postes de iluminação, desenvolvida a pedido de um cliente e outra célula desenvolvida por opção interna. Nestes dois casos, o produto final é novo porém apenas foram analisados os sub-sistemas considerados inovadores deixando de parte os sub-sistemas semelhantes aos produtos já fabricados.

Célula de quinagem para fabrico de postes

Este produto é uma célula de quinagem composta por um alimentador de chapa, duas quinadoras (com 500 toneladas e 7 metros de comprimento) com esbarros frontais e posteriores e extractor de peças que permite a produção automática com apenas um operador (ver figura 8).

Inicialmente, uma chapa com forma de trapézio é transportada, através de um alimentador, para a mesa das quinadoras. De seguida o esbarro frontal desloca a peça até esta se encostar no esbarro posterior e são feitas cinco quinagens na chapa. Depois o extractor retira a peça lateralmente repetindo-se um novo ciclo.



Figura 8 - Célula de quinagem e alimentador de chapa [16].

GreenBender

Este projecto consistiu na concepção e desenvolvimento de um equipamento para quinagem de chapa conforme a directiva ECO Design (ver figura 9). O objectivo é criar um novo produto com uma precisão mais elevada, mais simples e intuitivo de utilizar, tempos de paragem para mudança de ferramentas, programação ou manutenção mais curtos, produtividade e cadência mais altas e, por fim, com custos que não excedam os da actual gama alta.



Figura 9 - Protótipo da GreenBender [16].

Depois de identificados os produtos alvo iniciou-se a análise FMEA do produto, tendo-se registado os dados num documento FMEA apresentado na figura 10. Começou-se por analisar os requisitos e funções dos produtos.



FMEA de Produto / Processo	Elaborado por:	Data:
Produto Final:	Número FMEA:	Equipa responsável:
Item:	Último FMEA realizado:	

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais				
													G	O	D	NPR	

Figura 10 - Documento FMEA com o template da empresa.

Após enumeradas as funções foram descritos os modos e efeitos das falhas tanto internas como externas e as respectivas causas.

De seguida explica-se o modo de obtenção da informação sobre falhas ocorridas ao nível interno (analisando o registo das não-conformidades) e externo (através do registo das ordens de assistência técnica).

2.4.1. Identificação das falhas internas e respectivas causas

Uma não-conformidade segundo a norma ISO 9000:2005 é a "não satisfação de um requisito relacionado com uma utilização pretendida ou especificada" [19]. Também se pode considerar que uma não-conformidade é um alerta de problemas, um aviso de necessidade de correcção e/ou um aviso de oportunidade de melhoria. As não-conformidades podem ser falhas do processo, defeitos do produto, reclamações de clientes, entre outras.

Em geral, face à ocorrência de uma não-conformidade, a tendência é resolver a mesma de modo a evitar consequências, evitar a paragem da produção ou mesmo o não cumprimento de prazos de entrega não se tomando acções de fundo. Porém quando uma não-conformidade se repete, esta deve ser tratada com mais rigor pois acarreta custos elevados para a empresa.

2.4.1.1. Sistema de informação actual

O sistema informático da empresa permite registar não-conformidades detectadas em qualquer etapa do processo através do documento apresentado na figura 11. Com estes dados consegue-se obter a listagem do número de não-conformidades num determinado período de tempo, o número total de peças não conformes, distribuição de não-conformidades por causa, grupo detector, máquina e centro de custo.

Na investigação das não-conformidades deparou-se com a ausência de registos de falhas na produção. Para tentar encontrar a causa deste problema assistiu-se à produção de uma Quinadora PM, desde a montagem e ensaios até à sua expedição.

2.4.1.2. Problemas identificados

Verificou-se que ao ocorrer uma falha capaz de provocar uma interrupção nas operações de produção esta era logo comunicada e resolvida por um responsável da produção porém, o seu registo só era efectuado se esta fosse considerada grave (dando origem a uma não-conformidade). A classificação da gravidade de uma falha

não tinha um critério quantitativo ficando assim sujeita ao critério subjectivo de cada um que efectua o registo.

The screenshot shows a software window titled "tiadi0090m002 : Manter Não Conformidades [100]". The window has a menu bar with options: Ficheiro, Editar, Ver, Workflow, Opções, Ordem, Ferramentas, Especial, Ajuda. Below the menu bar is a toolbar with various icons for navigation and editing. The main area of the window is a form with the following fields and values:

nro. sequencial	990393
O.F.	111146 ▶ Quant. 2
Artigo	XQ-08053 ▶ TUBO DE TORSAO
Executante	400 ▶ Sérgio Helder Carval
Data In.	18/06/1999
Date de fim	18/06/1999
Detectou	Montagem ▼
Tip.Maq.	QHD ▼
Quan.NCF	1
Causa	maq., ferr., Inst. medida ▼
Centro de custo	11303 ▶ Tornos Convencionais
fornecedor resp.	000000 ▶ Não aplicável
tipo	Cota Linear ▼
tratamento	Seg. mod. peças(dif. des) ▼
operadores resp.	001

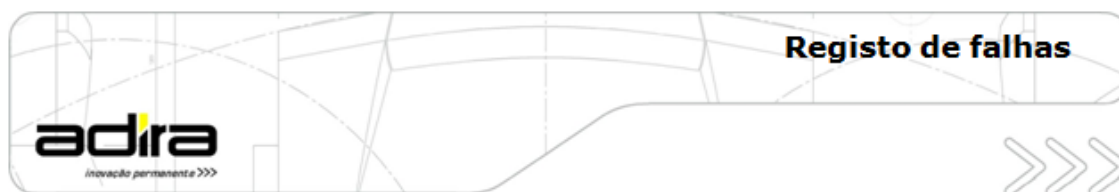
Figura 11 - Documento "Manter Não-Conformidade".

2.4.1.3. Melhorias propostas para os problemas identificados

Para caracterizar devidamente as não-conformidades surgiu a necessidade de criar um registo diferente do existente para descrever os acontecimentos anormais/problemas nas etapas de produção (maquinagem, pré-montagem, montagem e ensaios) com a informação necessária.

O documento proposto deve conter menos informação que o documento actual porém deve ser mais específico para se passar a conhecer a frequência de ocorrência, o que foi feito para resolver as não-conformidades anteriores e a possível causa das mesmas. Estes dados são valiosos para encontrar a solução para os problemas que se vão encontrando pois não se pode esquecer que o que se regista actualmente são apenas sintomas e não as causas.

Este registo poderá também constituir uma ferramenta de melhoria pois vai permitir criar oportunidades de melhoria a partir dos registos das ocorrências inesperadas que acontecem na empresa. Na figura 12 pode-se ver o documento proposto para o registo das falhas, bem como a descrição de cada campo.



Ordem Fabrico	
Artigo	
Tipo de máquina	
Data e Hora de Início	___ / ___ / ___ às ___ : ___
Descrição/Sintoma	
Causa Provável	
Solução Realizada	
Data e Hora de Fim	___ / ___ / ___ às ___ : ___
Responsável	
Anexos	

Figura 12 - Documento para registo de falhas.

- **Ordem de Fabrico:** corresponde à ordem de fabrico onde ocorreu a falha. Pode existir a hipótese de não ser possível identificar a ordem de fabrico, neste caso o campo fica em branco
- **Artigo:** é o artigo associado à falha. Mesmo que não seja conhecida a ordem de fabrico, o artigo é sempre conhecido
- **Tipo de máquina:** definir o modelo da máquina
- **Data e Hora de Início:** corresponde à data e a hora em que se verificou a falha
- **Descrição/Sintoma:** deve-se descrever o problema que ocorreu de um modo resumido e explícito
- **Causa Provável:** descrever possíveis causas para a ocorrência da falha
- **Solução Realizada:** se alguma acção for efectuada deverá ser registada
- **Data e Hora de Fim:** corresponde à data em que se eliminou a falha
- **Responsável:** pessoa responsável pelo preenchimento do documento
- **Anexos:** quando necessário acrescentar fotos ou outros registos.

Devido à ausência de registos de falhas internas não se efectuou nenhum tratamento passando de seguida para a análise das falhas ocorridas no cliente.

2.4.2. Identificação das falhas externas e respectivas causas

Para analisar as falhas no cliente, a considerar na análise FMEA, teve-se de consultar os registos das ordens de assistência técnica.

2.4.2.1. Sistema de informação actual

As ordens de assistência técnica, também denominadas de OAT, são geridas pelo Serviço Pós-Venda que tem como objectivo definir os processos e responsabilidades para as actividades de assistência pós-venda. As OAT são geradas no caso de falhas, problemas, avarias, instalações ou mesmo manutenção preventiva.

Quando a OAT é aberta têm de ser preenchidos vários campos, como se pode ver na figura 13, sendo para o caso de estudo, importantes os campos denominados "Sintoma" e "Problema" pois é nestes que se caracterizam as não-conformidades ocorridas no cliente.

O "Sintoma" e o "Problema" são classificados com base em tabelas existentes que associam um código para cada sintoma ou problema.

Ordem de serviço		115256		ASSISTÊNCIA TÉCNICA	
Comunicação	12/10/2010	16:07	Texto de chamada	Não	
Atribuição	19/10/2010	08:00	Txt. folha serv.	Não	
Chamada técnico			Texto reparação	Sim	
Notific. técnico			Texto de factura	Não	
Data/hr. resposta	13/10/2010	00:07			
Data/hora início	19/10/2010	11:00	Prazo resposta	8,00	[Horas]
Data/hora fim	19/10/2010	20:30	Horas planeadas	4,00	
Prioridade		110		NORMAL	
Empregado		417		BRUNO VENTURA ROCHA COELHO	
F.serviço em bm.		0			
Sintoma		002		PROBLEMAS MECÂNICOS	
Problema		002		PROBLEMAS MECÂNICOS	
Ordem seguimento		0			
Ordem pai		0			

Figura 13 - Dados a preencher quando é aberta uma OAT [16].

2.4.2.2. Problemas identificados

Numa primeira análise verificou-se que as listas incluíam 1708 problemas e 1800 sintomas, sendo estas demasiado extensas para uma boa classificação. Detectou-se também, que o conteúdo das listas era praticamente igual, contendo itens repetidos e alguns com descrições iguais, variando ligeiramente a escrita. Também se verificou que o conteúdo das listas por vezes não correspondia a um “Sintoma” ou a um “Problema”. Na figura 14 apresenta-se um excerto da lista de problemas e da lista de sintomas que ilustra alguns destes problemas. Um exemplo para mostrar o problema dos itens repetidos é o caso dos itens: "406 | VIRAR LAMINAS", "503 | VIRAR LAMINAS" e "715 | VIRAR LAMINAS", da lista de sintomas, que têm a mesma descrição mas códigos diferentes associados. Deste exemplo também se pode verificar que a descrição "Virar Lâminas" não devia corresponder a um sintoma mas a uma solução. Para demonstrar o outro problema tem-se o exemplo dos códigos: "405 | O CORTE SAI COM REBARBA ", "415 | SAI REBARBA NO CORTE " e "709 | O CORTE APRESENTA REBARBA ".

Data : 18/02/11 [15:43]	PROBLEMAS	Página : 1
4	ADIRA S.A.	Companhia : 100
7	Problema Descrição	
9	01 AVARIA MECÂNICA	
10	001 INSTALAÇÃO DA MÁQUINA	
11	002 PROBLEMAS MECÂNICOS	
12	003 REV./AFINAÇÕES MECÂNICAS	
13	004 MODIFICAÇÕES (SEM AVARIA)	
14	005 FUGAS DE ÓLEO DO CILINDRO	
15	006 FUGAS DE ÓLEO DO CIRCUITO	
16	007 AVARIA COMP. HIDR.	
17	008 AVARIA CALCADORES	
18	009 REPARAÇÕES NA ADIRA	
19	010 ESBARRO	
20	011 PROFUNDIDADE DE QUINAGEM	
21	012 MATRIZES/PUNÇÕES	
22	013 LAMINAS	
23	014 RECLAMAÇÕES	
24	015 ELECTRONICA POTÊNCIA	
25	016 ELECTRONICA COMANDOS	

Data : 18/02/11 [15:44]	SÍNTOMAS	Página : 1
4	ADIRA S.A.	Companhia : 100
7	Sintoma Descrição	
9	01 AVARIA MECÂNICA	
10	02 AVARIA ELÉCTRICA	
11	03 AVARIA HIDRAULICA	
12	04 AVARIA ELECTRÓNICA POTÊNCIA	
13	05 AVARIA CNC	
14	06 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	
15	07 MODIFICAÇÕES	
16	08 PROGRAMAÇÃO CNC	
17	09 INSTALAÇÃO E FORMAÇÃO	
18	001 INSTALAÇÃO DA MÁQUINA	
19	002 PROBLEMAS MECÂNICOS	
20	003 REV./AFINAÇÕES MECÂNICAS	
21	004 MODIFICAÇÕES (SEM AVARIA)	
22	005 FUGAS DE ÓLEO DO CILINDRO	
23	006 FUGAS DE ÓLEO DO CIRCUITO	
24	007 AVARIA COMP. HIDR.	
25	008 AVARIA CALCADORES	

Figura 14 - Semelhança de um excerto das listas de Problemas e Sintomas.

No final para encerrar uma OAT é necessário também introduzir uma solução como se pode ver na figura 15.

tsma3142m000 : Reportar ordens de serviço terminadas [100]

Ficheiro Editar Ver Workflow Opções Ordem Ferramentas Especial Ajuda

Ordem serviço: 115256 ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Status: História

Tipo de serviço: Chamada

Tipo de ordem: OAT ▶ ORDEM DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Empregado: 417 ▶ BRUNO VENTURA ROCHA COELHO

Instalação: 4001/10522 ▶ GHS-0440

Tipo instalação: NORMAL ▶ MÁQUINA DNC

Localização: 101610 ▶ LUIS FILIPE MENDES MOTA

Cliente: 101810 ▶ LUÍS MOTA & FILHOS, LDA

Comunicação	12/10/2010	16:07	Texto aviso	Não	Texto chm.	Não
Data/hora inic.	19/10/2010	11:00	Txt. história	Não	T.	Não
Data/hora fim	19/10/2010	20:30	Txt. reparaç.	Sim		
Ord. seguimento	0 ▶		Texto factura	Não		

Sintoma: 002 PROBLEMAS MECÂNICOS

Problema: 002 ▶ PROBLEMAS MECÂNICOS

Solução: 002 ▶ PROBLEMAS MECÂNICOS

Figura 15 - Dados a preencher quando é fechada uma OAT [16].

Da análise da lista de soluções, constituída por 220 tipos de soluções, verificou-se que era igualmente extensa e continha opções, como por exemplo "Esbarro", "Reclamações" ou "Probl. Eléctricos", que não são acções apesar de estarem descritas como uma solução (ver figura 16).

1	Solução do Probl.	Nº OAT	NºOAT	Total Custos	Custos Garant.	Factura	
2	INSTALAÇÃO DA MÁQUINA	1361	1105	81,19%	211 139,31	183 642,76	76 336,62
3	PROBLEMAS MECÂNICOS	1277	379	29,68%	231 859,34	55 490,26	430 536,98
4	REV./AFINAÇÕES MECÂNICAS	916	138	15,07%	161 289,31	29 371,91	351 137,53
5	MODIFICAÇÕES (SEM AVARIA)	182	88	48,35%	125 774,20	19 297,83	239 765,91
6	FUGAS DE ÓLEO DO CILINDRO	268	84	31,34%	91 171,82	17 519,33	183 916,50
7	FUGAS DE ÓLEO DO CIRCUITO	372	160	43,01%	37 703,23	17 772,51	53 955,41
8	AVARIA COMP. HIDR.	478	107	22,38%	107 468,78	17 264,52	177 486,11
9	AVARIA CALÇADORES	4	2	50,00%	270,13	73,73	589,09
10	REPARAÇÕES NA ADIRA	18	3	16,67%	26 388,66	1 486,79	51 962,43
11	ESBARRO	341	158	46,33%	30 493,89	8 407,23	60 163,46
12	PROFUNDIDADE DE QUINAGEM	5	3	60,00%	103,87	51,62	245,89
13	MATRIZES/PUNÇÕES	5	5	100,00%	294,99	294,99	0
14	LAMINAS	751	95	12,65%	111 071,75	9 816,08	267 405,68
15	RECLAMAÇÕES	22	3	13,64%	-3 987,83	109,31	-9 295,35
16	ELECTRONICA POTÊNCIA	77	17	22,08%	14 500,23	3 454,67	20 831,10
17	ELECTRONICA COMANDOS	1276	458	35,89%	294 111,91	71 489,05	509 104,03
18	PROBL. ELÉCTRICOS	1650	447	27,09%	244 199,14	62 455,92	452 651,78
19	FORMAÇÃO	414	329	79,47%	126 265,18	48 158,22	200 509,06
20	OUTROS	5050	1752	34,69%	683 257,97	236 221,41	1 186 222,82
21	REPARAÇÃO MECÂNICA DO ESBARRO	2	0	0,00%	423,19	0	1 025,92
22	O ESBARRO NÃO SE DESLOCA	3	1	33,33%	531,32	288,81	496,95
23	DESENCRAVAR ELEMENTO LÓGICO	1	0	0,00%	73,83	0	161,85
24	VIRAR LÂMINAS	4	1	25,00%	661,02	199,08	1 032,76
25	ELIMINAR FUGAS DE ÓLEO	2	0	0,00%	134,00	0	200,00

Figura 16 - Exemplos de solução do Problema.

2.4.2.3. Melhorias propostas para os problemas identificados

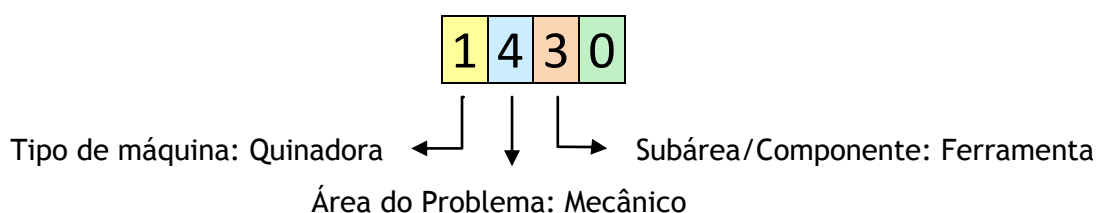
De modo a garantir uma melhor gestão e um método mais prático e correcto de documentar as ordens de assistência técnica para posteriormente se poder utilizar a informação recolhida para melhorar os processos e os produtos, criou-se um novo método para se descreverem os problemas, sintomas e soluções.

Inicialmente descreveu-se o significado de cada uma das listas: "Problema", "Sintoma" e "Solução" associando-se uma pergunta de modo a explicitar o que deve conter cada uma das listas:

- Lista de Problemas - lista de produtos, sistemas ou componentes onde podem ocorrer problemas (Onde?)
- Lista de Sintomas - descrição breve da lista de qualquer alteração do funcionamento normal da máquina descrita pelo cliente e/ou verificada pelo técnico (O quê?)
- Lista de Soluções - lista de acções a tomar para resolver os problemas (O que fazer?)

Lista de Problemas

Para melhor caracterizar o Problema e de forma mais simples, decidiu-se utilizar uma sequência de quatro algarismos, em que o primeiro corresponde ao tipo de máquina em questão, o segundo corresponde à área em que o problema aconteceu e o terceiro e o quarto correspondem à subárea ou componente onde acontece o problema. Um exemplo desta classificação pode ser:



Na tabela 7 pode-se analisar a lista criada para a classificação dos Problemas encontrados.

Esta lista não é definitiva pois existem números em aberto para fazer corresponder a novos produtos ou componentes. Como se pode ver o último algarismo dos componentes ainda não está atribuído, sendo este utilizado quando houver necessidade mais tarde de ser-se mais específico em alguns componentes.

Tabela 7 - Lista de classes de Problemas.

Problema - Produto / sistema / componente onde ocorre o problema (Onde?)

1º Produto		2º Área		3º Subárea/ Componente	
1000	Quinadora	100	Instalação/Manutenção	100	Instalação
2000	Guilhotina	200	Utilização	10	Instalação
3000	Laser	300	Hidráulico	20	Manutenção Preventiva
4000	Tandem	400	Mecânico	200	Utilização
5000		500	Eléctrico	10	Falta de conhecimento
6000		600	Óptico	20	Formação insuficiente
7000		700	Software	30	Uso indevido
8000		800	Subsistemas	300	Hidráulico
9000		900	Pintura	10	Acessórios (vedantes...)
				20	Bloco hidráulico
				30	Bomba
				40	Calcadores
				50	Cilindros
				60	Circuito hidráulico
				70	Filtros
				80	Manómetro
				90	Válvulas
				400	Mecânico
				10	Avental
				20	Estrutura
				30	Ferramentas
				40	Intermediários
				50	Mesa
				60	Moentes/Rótulas
				70	Pedal
				80	Porta-Lâminas/ Porta-Punções/ Porta-Matriz
				500	Eléctrico
				10	Autómato
				20	Comando
				30	Drive
				40	Fonte alimentação
				50	Material Eléctrico Genérico
				60	Motor

Continua na página seguinte

600	Óptico
10	Espelhos
20	Foles
30	Lentes
700	Software
10	Probl. Software
800	Subsistemas
10	Eixos/outros sistemas de movimentação/mecanismos diversos
20	Sistema Lubrificação
30	Sistema Aperto Ferramentas
900	Pintura

Quando se caracteriza o Problema na abertura de uma OAT, pode-se pensar que a origem do problema está num certo componente porém depois de analisado pelos técnicos pode-se concluir que a origem é outra. Assim, este campo é possível de ser alterado mudar quantas vezes se entender até solucionar o problema.

Lista de Sintomas

Para a caracterização dos sintomas fez-se uma análise dos dados existentes e verificou-se que diferentes componentes têm a mesma designação para se descrever o mesmo sintoma. Por exemplo: "410 | PORTA-LAMINAS NÃO SOBE" e "600 | O AVENTAL MÓVEL NÃO SOBE" são descrições diferentes para o mesmo sintoma: "Não Sobe". De modo a corrigir e simplificar a lista de sintomas retirou-se a descrição do componente, ficando só com o sintoma propriamente dito: "Não se movimenta". Na tabela 8 pode-se ver a lista final de possíveis sintomas.

Lista de Soluções

A lista das soluções (ver tabela 9) também foi modificada utilizando a descrição de acções que caracterizam o que é realizado para eliminar o problema.

Tabela 8 - Lista de possíveis Sintomas.

Lista de Sintomas	
1	Danificado
2	Curto-circuito
3	Falha paralelismo
4	Folga
5	Inclina
6	Fuga
7	Não acciona
8	Não acciona correctamente
9	Não corta
10	Não corta correctamente
11	Não se movimenta
12	Não se movimenta correctamente
13	Ruído
14	Falha programação
15	Não tem pressão
16	Não quina
17	Não quina correctamente
18	Mensagem Erro

Tabela 9 - Lista de possíveis Soluções.

Lista de Soluções	
1	Afinar
2	Ajustar
3	Alinhar
4	Aplicar
5	Desencravar
6	Eliminar
7	Lubrificar
8	Montar
9	Programar
10	Rectificar
11	Reparar
12	Substituir
13	Virar

Para a criação destas listas fez-se um tratamento detalhado e extenso de todos os casos existentes nas bases de dados de modo a eliminar repetições e criando listas mais curtas. Por vezes, devido à falta de conhecimento pormenorizado dos componentes e funções da máquina teve-se de efectuar as listas com o envolvimento de em conjunto com vários engenheiros especialistas em projecto. O desenvolvimento destas listas também implicou uma validação por parte da Engenharia, Produção e Serviço Pós-venda de modo a caracterizarem-se devidamente os sintomas e soluções.

2.4.3. *Brainstorming* para identificação de potenciais falhas

Devido à ausência de registos de falhas correctos e explícitos fez-se uma sessão de *brainstorming* para, com base na experiência da equipa, identificar potências falhas dos produtos em estudo. Para cada função foram identificados os potenciais modos e efeitos de falha classificando-se de seguida o respectivo índice de gravidade.

Com base no conhecimento de produtos semelhantes, foram enumeradas algumas das causas e falhas atribuindo a cada uma, a probabilidade de ocorrência.

2.4.4. Controlos, índice de risco e acções

De modo a prevenir ou detectar as causas de falha foram estabelecidas operações de controlo. É de referir que normalmente, nesta empresa, as falhas são detectadas através dos ensaios específicos que a empresa realiza a cada tipo de máquina.

Depois de analisados os controlos actuais para cada falha, determinou-se o índice de detecção. Após ter-se atribuído os três índices (gravidade, ocorrência e detecção) foi calculado o índice de risco - RPN.

De modo a reduzir os riscos encontrados para a célula de quinagem de postes, fez-se uma nova sessão de *brainstorming* para se discutir as acções a tomar para cada falha encontrada, responsabilizando uma pessoa por cada acção.

2.5. O FMEA de uma célula de quinagem para postes metálicos

Na elaboração do documento FMEA (ver tabela 10) identificaram-se os itens a analisar e determinaram-se as suas funções. Para cada função analisou-se os potenciais modos de falha. No caso da célula de quinagem para postes metálicos encontraram-se os seguintes potenciais modos de falha:

- MODO 1: A chapa posiciona-se numa esquina do dedo (ver figura 17);
- MODO 2: Velocidade a mais a posicionar por excesso de pressão;
- MODO 3: Força exercida pela peça excede força do cilindro;
- MODO 4: Falta de sincronização (ver figura 18);
- MODO 5: Demora a posicionar;
- MODO 6: Falha no posicionamento da ferramenta.

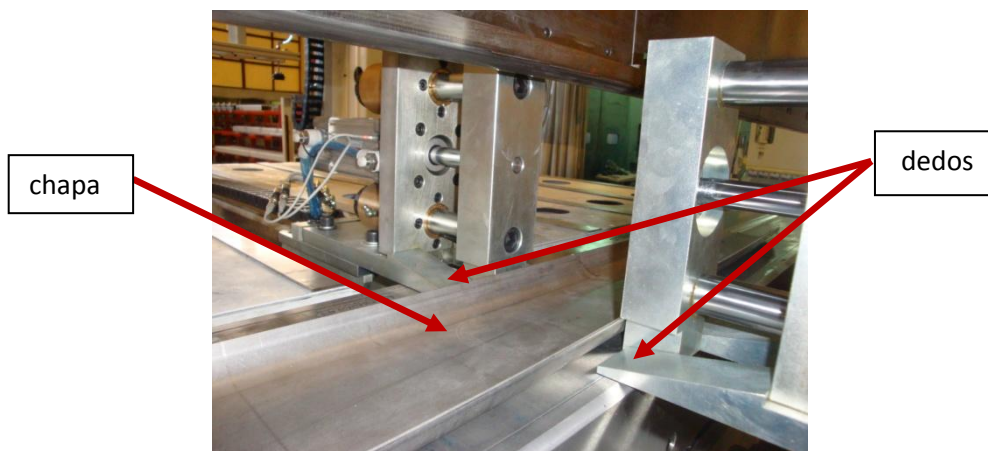


Figura 17 - Potencial modo de falha: chapa posiciona-se numa esquina do dedo.

Tabela 10 - Análise FMEA realizada para o produto "Célula de quinagem de postes".

FMEA de Produto / Processo	Elaborado por: Tiago Faro e Marta Araújo	Data: 15/06/11
Produto Final: Célula de quinagem de postes	Número FMEA: 1	Equipa responsável: Tiago Faro, Rui César, Rui Casais, Rita Dias, António Alves, Carlos Teixeira, Jorge Martins, Pedro, Marta Araújo
Item: -----	Último FMEA realizado: Não existe	

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NP R	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NP R
Dedo	Posicionar a chapa no local correcto para quinar	A chapa posiciona-se numa esquina do dedo	Mau posicionamento da peça	3	Geometria do dedo não coincide com a peça	5	Ensaio da máquina	1	15	Estudo da geometria do dedo	António Alves	Nenhuma (Depois de executados ensaios tudo conforme)	3	5	1	15
Eixo Pneumático	Auxiliar do posicionamento da chapa no sítio correcto	Velocidade a mais a posicionar por excesso de pressão	Danifica a peça e o eixo Posiciona mal a peça	6	Excesso de caudal	3	Verificação visual da peça	1	18	Verificar o regulador de caudal	António Alves	Nenhuma (velocidade verificou-se adequada)	6	3	1	18
		Força exercida pela peça excede a força do cilindro	Não posiciona	2	Peça mal programada	3	Verificação visual da peça	1	6	Verificar o regulador de caudal	António Alves	Alargar a folga do posicionamento entre dedos	1	3	1	3

Continua na página seguinte

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NP R	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NP R
Tandem	Funcionamento sincronizado de duas máquinas	Falta sincronização	Movimentos descontrolados da máquina podendo mesmo levar à destruição desta e das ferramentas	8	Desajuste hidráulico ou eléctrico	4	Ensaio da máquina	1	32	Colocar um sensor de deslocamento de modo a detectar diferentes alturas de elevação	Rui Casais	Colocar um sensor de deslocamento que corta o movimento quando detecta diferentes alturas	1	1	1	1
					Erro de programação	7	Ensaio da máquina	1	56		Rui Casais		1	3	1	3
		Demora a posicionar	Não afecta funcionalmente mas fica esteticamente inaceitável	4	Desajuste hidráulico ou eléctrico	5	Ensaio da máquina	1	20	Ajustar e parametrização exhaustiva	Rui Casais	Efectuada a parametrização correcta	1	2	1	2
		Falha no posicionamento da ferramenta	Afecta funcionalmente o resultado final	8	Desajuste hidráulico ou eléctrico	4	Ensaio da máquina	4	128	Parametrização exhaustiva e rigor na programação da peça e da ferramenta	Tiago Faro	Efectuada a parametrização correcta e executados testes exhaustivos	1	1	1	1

Para cada potencial modo de falha identificaram-se o efeito e as suas causas. Após a análise destes casos estabeleceram-se os índices de gravidade, ocorrência e detecção calculando-se de seguida o NPR.

Para o modo 1 e 2 apesar de estes terem uma detecção alta e uma probabilidade baixa de ocorrência, quando ocorrem provocam baixa insatisfação nos clientes. O NPR gerado é baixo, por isso, optou-se neste caso não se proceder a nenhuma acção de melhoria.

Quanto aos restantes modos de falha, teve-se de implementar acções de melhoria para diminuir o valor RPN (diminuindo a ocorrência e gravidade dos modos de falhas e/ou aumentando a detecção).

No caso do modo 3, apesar da detecção de índice 1, ou seja, os controlos quase certamente que detectam a potencial causa e subsequentes modos de falha, e de um RPN muito baixo, decidiu-se actuar sobre a gravidade, pois o efeito era detectado por alguns clientes considerados importantes para a empresa. Decidiu-se diminuir a gravidade o mais possível tomando como acção alargar a folga existente entre os dois dedos de modo a que a chapa quando quinada adopte a forma da ferramenta.

Para o modo 4, uma falta de sincronização pode provocar um movimento descontrolado da máquina que pode levar à destruição desta ou da ferramenta. Para este efeito considerou-se um índice de gravidade muito alta, usando-se um índice de 8, pois resulta numa perda da operação primária e a um grande descontentamento do cliente. Na figura 18, pode-se ver que como o poste fica a envolver a ferramenta, e que com uma diferença de alturas nas máquinas pode provocar uma torção do poste e consequentemente destruição das ferramentas.

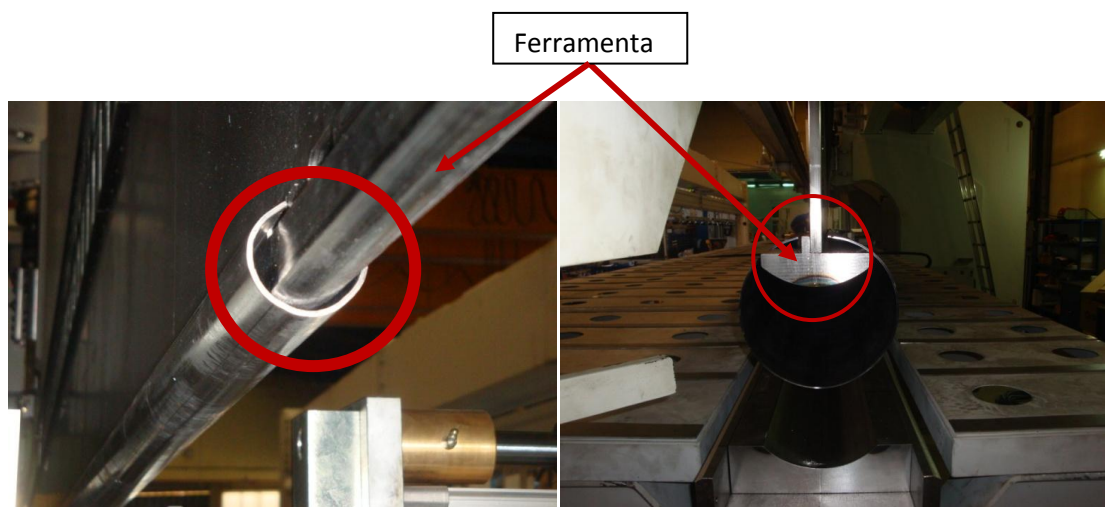


Figura 18 - Poste em volta da ferramenta.

Quanto à ocorrência da falha, ou seja, à probabilidade das causas ocorrerem, foi classificada com probabilidade reduzida e frequente, usando os índices 4 e 7. A detecção foi classificada com o índice 1, visto que os controlos têm uma capacidade muito grande de detectar as potenciais causas. De modo a reduzir o índice de gravidade e ocorrência recomendou-se colocar um sensor de deslocamento que corta o movimento da máquina quando detecta diferentes alturas.

Em relação ao modo 5, apesar deste não afectar a máquina funcionalmente, este ocorre ocasionalmente devido a um desajuste hidráulico ou eléctrico causando uma aparência esteticamente inaceitável notada pela maioria dos clientes. Apesar de uma detecção quase certa, optou-se por agir ao nível da gravidade e da ocorrência efectuando uma parametrização mais ajustada.

Por fim, de modo a tratar da gravidade classificada como muito alta do modo de falha 6 (com ocorrência reduzida e detecção alta), foi realizada uma parametrização específica e executados testes específicos para este produto.

Depois de implementadas as medidas previstas, voltou-se a avaliar os índices de gravidade, ocorrência e detecção verificando melhorias nos resultados devido ao aumento da folga, à colocação de um sensor e da parametrização correcta. De salientar que no ensaio final da célula também se verificou o seu funcionamento sem falhas.

Após a análise FMEA concluiu-se que o tempo consumido a determinar os índices a atribuir para cálculo do valor de RPN de modo a ter-se uma prioridade, não compensou, pois como se tratavam de poucos modos de falha não se criou nenhuma ordem de prioridade, estabelecendo acções de melhoria para quase todas as falhas.

2.6. O FMEA de uma célula de quinagem para produtos diversos

Seguindo o mesmo procedimento do caso anterior, analisou-se o caso da quinadora GreenBender (ver tabela 11). Como é um produto novo e mais complexo devido às inovações introduzidas, a análise foi iniciada mas não foi ainda concluída (não foram descritos todos os possíveis modos de falha de todos os sistemas da máquina), não permitindo assim fazer uma análise dos resultados obtidos.

Alguns dos potenciais modos de falha já identificados para este caso são:

- MODO 1: Dificuldade no sincronismo dos dois cilindros;
- MODO 2: Falta de rigidez;
- MODO 3: Instabilidade na forma;
- MODO 4: Falta de alinhamento;

- MODO 5: Variações de pressão ou caudal;
- MODO 6: Variações;
- MODO 7: Pressão mínima regulável elevada.

Neste caso pode-se explicar alguns dos modos de falha. O modo 1 provoca uma falta de precisão no posicionamento devido a uma interferência no processo de monitorização/ controlo dos efeitos das forças dos cilindros secundários. Esta causa ocorre ocasionalmente tendo um efeito com uma gravidade considerada baixa. Depois de alguma discussão sobre esta causa, decidiu-se verificar as potencialidades do CNC e eliminar elementos flexíveis potenciais geradores de ressonância.

Quando ocorre uma instabilidade na forma (modo de falha 3) esta provoca a falta de paralelismo do produto. Apesar de os ensaios de quinagem detectarem certamente estes modos de falha, quando esta falta de paralelismo ocorre, provoca um funcionamento inaceitável da máquina, originando um índice de gravidade muito elevado. De modo a diminuir os índices de gravidade decidiu-se verificar a possibilidade de colocar reforços horizontais.

As variações de pressão de caudal provocam falta de precisão na regulação de pressão o que fomenta alguma insatisfação nos clientes. Este potencial modo de falha será detectado através dos ensaios realizados à máquina e pode ter origem em duas potenciais causas. Como acção recomendou-se um ajuste com base em experiências anteriores.

Esta análise deve ser concluída e após realizadas as medidas necessárias devem ser atribuídos novamente os índices e calculado o NPR.

Neste caso a análise recai sobre sistemas mais complexos, esperando-se (como referido na bibliografia) uma análise muito exigente, trabalhosa, difícil e até mesmo bastante morosa.

Tabela 11 - Análise FMEA realizada para o produto "Quinadora GreenBender".

FMEA de Produto / Processo	Elaborado por: Tiago Faro e Marta Araújo	Data: 30.05.2011
Produto Final: Quinadora GreenBender	Número FMEA: 1	Equipa responsável: Tiago Faro, Rui César, Rui Casais, Rita Dias, António Alves, Marta Araújo
Item: -----	Último FMEA realizado: Não existe	

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NPR
Sistema de accionamento dos eixos Y1-Y2	Posiciona o punção relativamente à matriz numa cota determinada para executar a quinagem	Dificuldade no sincronismo dos dois cilindros	Falta de precisão no posicionamento	5	Interferência no processo de monitorização/ controlo dos efeitos das forças dos cilindros secundários	5	Logger (Movimento da máquina será monitorizado através de um logger)	1	25	Verificar as potencialidades do CNC e eliminar elementos flexíveis potenciais geradores de ressonância						
Estrutura	Órgão de fixação dos elementos actuadores passivos e activos da máquina	Falta de rigidez	Deformação acentuada da estrutura	8	Existência de pontos fracos na estrutura	2	Ensaio de quinagem que revelarão a falta de rigidez da máquina	1	16	Verificar zonas de descarga das forças dos cilindros e mesa e verificar CF e carregamento do modelo de MEF						

Continua na página seguinte

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NPR
Avental superior	Transmissão de força dos cilindros para a peça. Fixação dos punções	Instabilidade e na forma	Falta de paralelismo	8	Flexão horizontal e vertical	3	Ensaio de quinagem que revelarão a falta de rigidez da máquina	1	24	Verificar a possibilidade de reforços horizontais						
Mesa	Transmissão de força dos cilindros para a peça. Fixação da matriz	Instabilidade e na forma	Falta de paralelismo	8	Flexão horizontal e vertical	1	Ensaio de quinagem que revelarão a falta de rigidez da máquina	1	8	Verificar a possibilidade de reforços horizontais						
Rótulas	Apoio do avental/pontes	Falta de alinhamento	Dificuldade de maquinação	5	Forma complexa	3	Procedimento de aferição de alinhamento no processo de montagem	5	75	Estudo de desenho mais simples. Procedimento robusto de aferição de alinhamento						

Continua na página seguinte

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NPR
Grupo energético	Fornecer energia ao organismo	Variações de pressão ou caudal	Falta de precisão na regulação de pressão	5	Válvulas com histerese demasiada	4	Ensaio (através do manómetro e velocidade da máquina)	3	60	Ajuste com base em experiências anteriores						
						4	Ensaio (através do manómetro e velocidade da máquina)	3	60	Ajuste com base em experiências anteriores						
Comando CNC	Controlo das funções e programação	Variações	Falta de precisão	5	Tempo de resposta longa	5	Logger (Detecção através de monitorização registada num logger)	1	25	Ajuste com base em experiências anteriores						

Continua na página seguinte

Item	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial(ais) Efeito(s) da Falha	G	Potencial(ais) Causa(s) da Falha	O	Controlos Actuais	D	NPR	Acções Recomendadas	Responsável / Prazo	Medidas Tomadas	Índices actuais			
													G	O	D	NPR
Válvula redutora de pressão	Regular a pressão por comando analógico	Pressão mínima regulável elevada	Variação da flexão do avental	5	Especificações da válvula Viscosidade do óleo	5	Ensaio de quinagem que revelarão esta falha de forma indirecta	3	75	Experiência na máquina Monitorizar						

Capítulo III - Conclusões

Uma das maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho foi a falta de registos que pudessem auxiliar e enriquecer a análise FMEA para os dois produtos. Reconhece-se que a falta de informação quantitativa e objectiva é uma condição imprescindível para implementar com eficácia e eficiência a análise FMEA. A utilização de sistemas de informação é fundamental na implementação do FMEA nas empresas. Em relação à nova classificação das falhas internas ainda não se conseguiu implementar a proposta desenhada pois é necessário alterar o sistema de gestão de informação actual. Quanto à nova classificação das falhas externas já está em implementação, não tendo surgido problema ou dificuldade até ao momento. Este novo método vai possibilitar a obtenção de dados mais correctos que permitem caracterizar realmente os serviços prestados pela empresa, aspecto fundamental do ponto de vista de melhoria do serviço ao cliente e consequentemente da sua satisfação. A proposta sugerida também vai permitir ter uma base de dados das falhas no cliente para serem controladas ou eliminadas.

Em relação à aplicação da metodologia FMEA pode-se concluir que a mesma trouxe algumas vantagens para a empresa, designadamente, o procedimento mais lógico e estruturado para analisar possíveis falhas de modo a implementar melhorias capazes de evitar custos maiores de alterações realizadas depois do produto acabado. Verificou-se que esta metodologia também tem algumas restrições, designadamente, a classificação dos índices ser um pouco subjectiva. Por outro lado, a determinação dos índices só tem utilidade para dar prioridade às acções não trazendo muito valor quando a análise apresenta poucas falhas. De salientar ainda outro aspecto talvez o mais importante, que consiste em avaliar cada modo de falha independentemente não permitindo estabelecer uma correlação e interacção entre os modos ou causas de falha.

Em relação aos produtos analisados, apenas se pode verificar a diminuição do valor de RPN depois de realizadas as acções de melhoria no caso da célula de quinagem de postes.

Bibliografia

1. Palmieri, M. Silva, W. Santos, Z. and Souza, R. 2008. *FMEA como ferramenta da qualidade: o caso do departamento de embalagens de uma indústria do setor farmacêutico*. Elaborado no XXVIII ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), de 13 a 16 Outubro, no Rio de Janeiro, Brasil.
2. Laurenti, R. and Rozenfeld, H. 2009. *Proposta de Análise integrada de falhas potenciais de produto*. Elaborado no CBGDP (Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto), de 3 a 5 Agosto, em São José dos Campos, Brasil.
3. Stamatis, D.H. 2003. *Failure Mode Effects Analysis: FMEA from theory to execution*, 2ªEd. USA: ASQ.
4. McDermott, R. Mikulak, R. and Beauregard M. 2009. *The basics of FMEA*. 2ª Ed., New York: Taylor & Francis Group.
5. Palady, Paul. 1998. *Failure Modes & Effects Analysis*, 2ªEd. USA: Practical Applications.
6. Santos, Ronildo. 2009. *Aplicação do FMEA no Projecto de moldes para injeção de materiais termoplásticos*. MSc. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste.
7. Bastos, André. 2006. *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Como Ferramenta de Prevenção da Qualidade em Produtos e Processos - Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem*. Elaborado no XXVI ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção) de 9 a 11 Outubro, em Fortaleza, Brasil.
8. Ribeiro, Kallie. 2009. *FMEA - Análise dos modos de falha e efeitos -Metodologia de qualidade em projectos de sistemas de informação*. MSc. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste.
9. AIAG (Automotive Industry Action Group). 2008. *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual*, 4ª Ed.
10. Toledo, J. and Amaral, D.. *FMEA - Análise do Tipo e Efeito da Falha*. GEPEQ (Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade) DEP - UFSCar. Disponível em <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>
11. CEI - IEC 60812. 2006. *Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*. Geneva: International Standart.
12. Vieira, Erlon. 2008. *FMEA - Análise de Modo e Efeitos de Falha e Orientações Estratégicas*. PhD. Universidade Federal de São Carlos.
(<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/Erlon-Monografia%20FMEA%20-%20UFSCar-Etapa.pdf>)

13. Subburaman, Karthik. 2010. *A Modified FMEA Approach to Enhance Reliability of Lean Systems*. PhD. The University of Tennessee, Knoxville.
14. Bright Hub. Weaknesses of FMEA. Disponível em: <http://www.brighthub.com/office/project-management/articles/72064.aspx> (acedido em 15/03/11)
15. Maintenance Technology. Cost Effective Insurance: The FMEA Process. Disponível em: <http://www.mt-online.com/component/content/article/258-october2009/1381-cost-effective-insurance-the-fmea-process.html?directory=90> (acedido em:15/03/11)
16. Adira S.A. 2011. Disponível em: http://intrabaan.adira.pt/webmsg/index_proc.asp (acedido em: 17/02/11)
17. Adira S.A. 2011. Disponível em: www.adira.pt . Acedido em: 19/03/11
18. COTEC Portugal. 2010. Noticias e eventos. Disponível em: http://www.cotecportugal.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=771&Itemid=192 (acedido em 15/03/11)
19. NP EN ISO 9000. 2005. Sistema de Gestão da qualidade. Fundamentos e vocabulário. Caparica. APQ.