



Hedolânio Madre de Deus Sequeira Bragança

Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial

**Implementação da Análise dos Modos
de Falha e seus Efeitos no processo de
fabricação de peças em material
compósito**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Prof^a Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de
Matos, Professora Auxiliar, FCT-UNL
Co-orientadora: Eng^a Elsa Caetano da Cruz
Engenheira da Qualidade, OGMA

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos
Machado

Vogais: Prof. Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes
Prof. Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos
Engenheira Elsa Caetano da Cruz

“Copyright” em nome de Hedolânio Madre de Deus Sequeira Bragança

Implementação da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no processo de fabricação de peças em material compósito

“A Faculdade de Ciência e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”

AGRADECIMENTOS

Quero expressar a minha estima e o meu agradecimento à Professora Doutora Ana Sofia Matos, orientadora desta dissertação de mestrado por todo o apoio e acompanhamento, sugestões e palavras de incentivo no decorrer deste trabalho.

Igualmente à Eng^a Elsa Caetano da Cruz, Engenheira da Qualidade na empresa OGMA-Indústria Aeronáutica de Portugal S.A. pelo apoio, sugestões e conhecimentos transmitidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colaboradores da OGMA que de forma directa ou indirectamente contribuíram para a que a realização deste trabalho fosse possível.

Professora Doutora Isabel Nunes pelo apoio e sugestões sobre outras metodologias para a priorização de risco.

À minha família, um obrigado especial, nomeadamente os meus irmãos que sempre me apoiaram e deram forças para a conclusão deste trabalho e à minha mãe que mesmo no céu sei que estará sempre comigo.

Ao meu colega de trabalho João Salgado pela ajuda na revisão e na tradução do resumo para inglês.

Aos meus amigos e colegas da Faculdade de Ciências e Tecnologias, pelas palavras de incentivo, momentos de brincadeira e pelo carinho nos momentos mais difíceis.

A todos os que estiveram ao meu lado nesta fase final, mesmo que não mencionados aqui um enorme obrigado.

RESUMO

Neste trabalho aplicou-se a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) para avaliação e priorização dos modos de falha associados ao processo de fabricação de peças em material compósito (nomeadamente a etapa de *Lay-up* e Bolsa de Vácuo) na empresa OGMA.

Para além do formulário de construção da FMEA, foram utilizadas algumas ferramentas da qualidade como o Fluxograma para ilustrar as várias etapas do processo, o Diagrama em árvore e sessões de brainstorming para identificar as causas que estão na origem dos modos de falha, o Diagrama de Pareto na identificação dos modos de falha que mais contribuíram para os imprevistos e o Plano de Controlo para garantir o acompanhamento e controlo das acções definidas.

Dadas as várias limitações e fraquezas apontadas por diversos autores na forma como é calculado o RPN (*Risk Priority Number*), este trabalho investiga a aplicabilidade da análise da relação *Grey* baseada no conhecimento de processos, seus modos de falha e efeitos como alternativa ao uso do RPN tradicional.

Foram recomendadas acções para os 14 modos de falha que revelaram uma maior contribuição para a ocorrência dos problemas detectados, e algumas perguntas sobre os desafios na implementação da FMEA foram colocadas e respondidas.

Muitas das acções sugeridas precisam de ser avaliadas para confirmar a sua viabilidade e benefícios. Ficam em aberto mais oportunidades e espaço para trabalhos de pesquisa nesta área e foram ainda deixadas algumas sugestões.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de modos e efeitos de falha

FMEA

Análise da relação *Grey*

RPN

ABSTRACT

In this Thesis it was applied the FMEA methodology for evaluation and prioritization of the failure modes associated with the manufacturing process of composite parts (namely the step of the Lay-up and Vacuum Bag) at the company OGMA.

Apart from the form for the elaboration of FMEA, it was used some quality tools such as the Flowchart to illustrate the various stages of the process, the Tree Diagram and brainstorming sessions to identify the causes which are the source of the failure modes, the Pareto chart for the identification of the failure modes that contributed to the unexpected occur and Control Plan to ensure the monitoring and control of the defined actions.

Given the various limitations and weaknesses pointed out by several authors in how the Risk Priority Number (RPN) is calculated, this study investigates the applicability of Grey relational analysis based on the knowledge of the processes, their failure modes and effects as an alternative to the use of the traditional RPN.

Were recommended actions for the 14 failure modes which showed a greater contribution to the occurrence of the problems encountered and some questions about the challenges in the implementation of FMEA were asked and answered.

Many of the suggested actions need to be evaluated to confirm its feasibility and benefits. More opportunities and room for research in this area are open and some suggestions were indicated.

KEY-WORDS

Failure Mode and Effects Analysis

FMEA

Grey relational analysis

Risk Priority Number (RPN)

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
NOMENCLATURA.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificação e motivação.....	1
1.2 Objectivos.....	1
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2. ABORDAGEM TEÓRICA.....	3
2.1 Caracterização da metodologia FMEA.....	3
2.2 Aplicações da FMEA.....	4
2.2.1 FMEA de sistemas.....	4
2.2.2 FMEA de projecto do produto.....	5
2.2.3 FMEA do processo.....	5
2.2.4 Integração do DFMEA e PFMEA.....	6
2.2.5 FMEA de serviços.....	6
2.3 Procedimento da FMEA.....	7
2.3.1 Etapas de implementação da FMEA.....	7
2.3.2 Ferramentas de apoio a implementação da FMEA.....	9
2.4 Classificação e priorização do risco.....	11
2.5 Limitações da FMEA tradicional.....	13
3. ABORDAGEM EXPERIMENTAL.....	15
3.1 Caracterização da empresa.....	15
3.2 Apresentação do caso de estudo.....	17
3.3 Formação da equipa de trabalho.....	18
3.4 Implementação da FMEA no processo de fabricação de peças em material compósito	19
3.4.1 Materiais Compósitos.....	19
3.4.2 Fluxo do processo.....	19
3.4.3 Desenvolvimento das funções/ tarefas das actividades do processo.....	22

3.4.4	Identificação dos modos de falha e seus efeitos	23
3.5	Identificação das causas potenciais	23
3.6	Avaliação do risco	29
3.6.1	Procedimento de <i>ranking</i> para priorização do risco através da FMEA tradicional 29	
3.6.2	Proposta para Classificação de Risco através do Teorema da relação <i>Grey</i>	34
3.6.3	Identificação de acções de correcção para os modos de falha.....	38
3.7	Plano de Controlo.....	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.	CONCLUSÕES.....	49
	BIBLIOGRAFIA.....	51
	ANEXOS.....	53
	AI. Tabelas de elaboração FMEA para o processo de fabricação de peça em material compósito	53
	AII. Diagramas em árvore.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Aplicações da FMEA: Foco principal e objectivos, adaptado de (Stamatis, 2003)....	7
Figura 2.2: Fluxograma do processo para analisar os modos de falha, adaptado de (Tay & Lim, 2006).	8
Figura 2.3: Representação simplificada de um Fluxograma (Pereira & Requeijo, 2008).....	9
Figura 2.4: Diagrama em Árvore (Pereira & Requeijo, 2008).....	10
Figura 2.5: Interação entre algumas ferramentas de apoio à FMEA	11
Figura 3.1: Diagrama das tecnologias e processos de fabricação e montagem de produtos da empresa.	16
Figura 3.2: Fluxograma Macro do processo: Fabricação de material compósito.....	20
Figura 3.3: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Programa errado”.....	24
Figura 3.4: Diagrama em árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Camadas mal posicionadas”	24
Figura 3.5: Diagrama de Pareto.....	34
Figura AII.1: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ferramenta mal alinhada”.....	76
Figura AII.2: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ferramenta mal travada”	76
Figura AII.3: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Programa Laser incorrecto”.....	76
Figura AII.4: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Falta de Camada”	76
Figura AII.5: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Camada em Excesso”	77
Figura AII.6: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “DOE (corpo estranho)”	77
Figura AII.7: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Resina fora do PVU”.....	77
Figura AII.8: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Descongelamento insuficiente”	77
Figura AII.9: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Excesso de resina”	78
Figura AII.10: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Resina insuficiente”	78
Figura AII.11: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Aplicação de Resina com equipamento inadequado”.....	78
Figura AII.12: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Contaminação da Resina”	78
Figura AII.13: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Falta de pré-compactação”	79
Figura AII.14: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Erro na documentação”	79
Figura AII.15: : Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Posicionamento incorrecto das plies”.....	79

Lista de Figuras

Figura AII.16: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Posicionamento incorrecto dos <i>BEADS</i> ”	80
Figura AII.17: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Troca de <i>BEADS</i> ”	80
Figura AII.18: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Posicionamento incorrecto dos termopares”	80
Figura AII.19: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Colocar termopares danificados”	81
Figura AII.20: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Não colocar termopares”	81
Figura AII.21: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Fuga de Vácuo”	81
Figura AII.22: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Material incorrecto”	82
Figura AII.23: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ensacamento incorrecto”	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tabela para pontuação da (G), adaptado de (Liu <i>et al.</i> , 2013; Sharma <i>et al.</i> , 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang <i>et al.</i> , 2011)	12
Tabela 2.2: Tabela para pontuação da (O), adaptado de (Liu <i>et al.</i> , 2013; Sharma <i>et al.</i> , 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang <i>et al.</i> , 2011)	12
Tabela 2.3: Tabela para pontuação da (D), adaptado de (Liu <i>et al.</i> , 2013; Sharma <i>et al.</i> , 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang <i>et al.</i> , 2011)	12
Tabela 3.1: Desenvolvimento da FMEA: Equipa envolvida e tempo despendido	18
Tabela 3.2: Descrição funcional e requisitos da actividade 5-Corte de tecido na máquina CNC22	
Tabela 3.3: <i>Lay-up</i> e Bolsa de Vácuo: Modos de falha, efeitos e causas raiz.	25
Tabela 3.4: Número prioritário de risco para o processo <i>Lay-up</i> e Bolsa de Vácuo e respectivo <i>Ranking</i>	30
Tabela 3.5: Tabela de identificação de características especiais para o FMEA	31
Tabela 3.6: Atribuição de <i>ranking</i> para os modos de falha com base indice RPN	32
Tabela 3.7: Dados para a elaboração do diagrama de Pareto.	33
Tabela 3.8: Ranking de prioridade pelo grau da relação <i>Grey</i>	37
Tabela 3.9: Acções recomendadas	39
Tabela 3.10: Tabela exemplo para Plano de controlo com descrição dos campos.....	42
Tabela AI.1: Fase 1-Entrada em armazém de perfis fabricados.....	54
Tabela AI.2: Fase 2-Preparação da ferramenta	55
Tabela AI.3: Fase 3-Recorte CNC dos perfis em <i>BEADS</i>	57
Tabela AI.4: Fase 4-Criação de <i>Kits</i> de <i>BEADS</i>	59
Tabela AI.5: Fase 5-Corte de Tecidos na máquina (CNC)	61
Tabela AI.6: Fase 6- <i>Lay-up</i> e Bolsa de vácuo	62
Tabela AI.7: Fase 7-Polimerização	69
Tabela AI.8: Fase 8-Controlo da posição dos <i>BEADS</i>	71
Tabela AI.9: Fase 9-Desmoldagem.....	72
Tabela AI.10: Fase 10-Recorte e Furação.....	73
Tabela AI.11: Fase 11-Acabamento/ Eliminação de Rebarbas	75

NOMENCLATURA

AQAP	<i>Allied Quality Assurance Publication</i>
AS	<i>Aerospace Standard</i>
CNC	Corte por Controlo Numérico
D	Detecção
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Critical Analysis</i>
FTP	Ficha técnica de produção
G	Gravidade
IOP	Instrução padronizada de operação
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MF	Modo de Falha
NS	<i>Normative System</i>
O	Ocorrência
OF	Ordem de fabricação
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effects Analysis</i>
PVU	Prazo de vida útil
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SPC	<i>Statistical process Control</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Justificação e motivação

Num ambiente onde os erros ou falhas no produto podem ser fatais, a qualidade e fiabilidade têm-se tornado factores importantes.

É essencial reduzir estes riscos tanto a nível de desenvolvimento do produto como a nível operacional se queremos garantir uma boa performance do produto final. A FMEA surge como uma ferramenta de prevenção e de resposta aos vários problemas identificados em produtos, serviços, sistemas e processos tornando-se uma prática comum em várias empresas.

Apesar dos vários exemplos de sucesso apontados nos estudos já realizados, esta ferramenta não é ainda uma realidade em todas as empresas e várias lacunas lhe são apontadas.

A OGMA-Indústria Aeronáutica de Portugal S.A. tem-se tornado cada vez mais competitiva no seu mercado de actuação, assim é importante que esta garanta altos níveis de qualidade no seu produto para satisfazer os seus clientes. É importante garantir um padrão elevado nos processos de fabricação para evitar futuras falhas e problemas que podem originar custos elevados.

Assim surgiu a possibilidade de poder implementar esta metodologia de forma integrada com ferramentas da qualidade, para identificar e avaliar os modos de falhas na fabricação de peças em material compósito e promover futuras melhorias para todo o processo.

1.2 Objectivos

Este trabalho tem como objectivos:

- Realizar a revisão da literatura sobre a análise dos modos de falha e seus efeitos.
- Definir a equipa de trabalho e mapear o processo em estudo.
- Implementar a metodologia FMEA para o processo de fabricação de peças em materiais compósitos, através da identificação dos modos de falha, seus efeitos para o processo e as causas de origem.
- Definir a priorização para os modos de falha que maior impacto têm na ocorrência dos problemas detectados.

- Propor uma metodologia alternativa à análise de risco através do RPN tradicional.
- Analisar resultados obtidos, identificar acções para minimização e mitigação das falhas e sugestão de um plano de controlo.
- Dar resposta aos “desafios FMEA”.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, organizados na sequência lógica de desenvolvimento do trabalho.

No presente capítulo (capítulo 1) é feita a introdução, onde se apresenta o enquadramento, a motivação e os objectivos estabelecidos para realização deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos que estão na base do estudo desenvolvido e que serviu de apoio a realização do capítulo 3 e 4. Neste capítulo são apresentados a definição e o objectivo da ferramenta FMEA, assim como informações sobre a sua origem.

Aborda-se também as outras vertentes de aplicação desta metodologia, as etapas de concepção e ferramentas de apoio à sua implementação. Depois é apresentado o RPN tradicional e os parâmetros FMEA e são identificadas algumas limitações à maneira como este é calculado.

O capítulo 3 inicia-se com a abordagem experimental, dando a conhecer a empresa onde foi desenvolvida o presente trabalho e alguns aspectos relevantes da sua história, sistema da qualidade e processos de fabricação. Apresenta-se o caso de estudo e a equipa envolvida no trabalho. Em seguida é feita a implementação da metodologia que através do uso das ferramentas da qualidade permitiu mapear o processo e identificar os seus modos de falha e potenciais causas. Depois é realizada a classificação do risco para priorizar as falhas e definir acções. Este capítulo termina com a apresentação de um plano de controlo.

No capítulo 4 os resultados obtidos são apresentados e discutidos, comparando-se a forma como se prioriza através do RPN e através da análise da relação *Grey*. São ainda apresentados os desafios principais na realização deste trabalho.

No capítulo 5 apresentam-se conclusões para esta aplicação FMEA na empresa OGMA e deixam-se recomendações para trabalhos futuros que possam contribuir para uma complementação ao trabalho redigido.

CAPÍTULO 2

ABORDAGEM TEÓRICA

2.1 Caracterização da metodologia FMEA

É possível encontrar na bibliografia várias definições, de vários autores, para a FMEA, vejamos algumas:

“FMEA é uma ferramenta muito útil e eficaz na avaliação de falhas potenciais e na prevenção da sua ocorrência” (Sankar & Prabhu, 2001).

“FMEA é uma técnica de análise usada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas e/ou potenciais...” (Stamatis, 2003).

“FMEA é um método de análise de fiabilidade com o objectivo de identificar falhas que afectam a função de um sistema e permite priorizar as acções a serem tomadas” (Braaksma, Klingenberg, & Veldman, 2012).

Pode concluir-se que a FMEA é uma metodologia usada por muitas empresas como ferramenta para identificar todas as potenciais falhas que afectam o funcionamento de um sistema (produto, processo ou serviço) e os efeitos destas sobre o sistema, visando a criação de medidas que podem reduzir ou eliminar a ocorrência destes modos de falha. Garante-se assim a fiabilidade no produto/ processo, melhoria da qualidade e consequentemente a satisfação dos clientes.

Desenvolvido na década de 50 do século XX nos USA, a metodologia da FMEA começou por ser aplicada na indústria militar para analisar falhas em componentes de alto risco (sistemas e equipamentos), só mais tarde, por volta de 1960, foi utilizada pela NASA para análise preventiva de potenciais falhas no projecto Apolo (Bernd, 2008). Desde então a FMEA tem sido largamente utilizada como ferramenta para análise de fiabilidade e segurança em várias indústrias como a indústria aeroespacial, aeronáutica, automóvel, nuclear, electrónica, química, mecânica e indústrias de tecnologias médicas (Chang & Cheng, 2011; Liu, Liu, & Liu, 2013; Sharma, Kumar, & Kumar, 2005).

Em 1988 as denominadas “*Big three*”, *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e a *General Motors Corporation*, juntamente com a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) desenvolveram a QS 9000 (actual ISO/ TS 16949) (AIAG, 1994). A QS 9000 é um padrão homólogo da ISO 9000 para o sector automóvel, cujo objectivo é garantir requisitos fundamentais da qualidade para os seus fornecedores. Um dos requisitos da QS 9000 é o plano

da qualidade avançado do produto (*Advanced Product Quality Planning-APQP*), onde estão incluídos o desenvolvimento da FMEA (projecto e processo) e planos de controlo.

O foco da análise dos modos de falha e efeitos passa por ser a acção preventiva total e não a correctiva após ocorrer o evento.

Segundo Stamatis (2003) a FMEA deve ser realizada ao longo da fase de concepção do projecto, pois quanto mais cedo for a recolha da informação, mais cedo são identificados os modos de falha e mais cedo se pode actuar na prevenção dos potenciais modos de falha.

2.2 Aplicações da FMEA

A propensão dos gestores e engenheiros para minimizar o risco em sistemas, projectos, processos e/ ou serviços, forçou a análise do campo da fiabilidade não apenas para minimizar o risco, mas também para definir o risco sempre que possível (Stamatis, 2003).

A análise de falhas tem sido aplicada em várias áreas tais como processos, serviços, projectos, sistemas e equipamentos, etc. No entanto, a base comum a estas variantes é sempre a identificação dos modos de falha, suas causas e efeitos.

2.2.1 FMEA de sistemas

É usada para analisar ocorrências de falhas em sistemas e/ ou subsistemas durante a fase de concepção do projecto do produto.

O foco da FMEA de sistemas é a identificação das potenciais anomalias que podem afectar a função do produto a diferentes níveis do sistema e seus componentes.

Numa FMEA de sistema a estrutura do produto é analisada como um sistema de elementos (subsistemas e componentes).

Stamatis (2003) aponta alguns pontos fortes na implementação da FMEA de sistemas:

- Ajuda a seleccionar a melhor alternativa à concepção dos sistemas e seus componentes;
- Ajuda a definir uma base de diagnóstico para os níveis do sistema;
- Aumenta a probabilidade de se considerar problemas potenciais;
- Identifica falhas potenciais no sistema e na sua interacção com outros sistemas ou subsistema.

2.2.2 FMEA de projecto do produto

A FMEA de projecto (DFMEA) é utilizada logo no início do ciclo de vida do produto. Consiste numa análise detalhada do projecto com o objectivo de prevenir os modos de falha a ele associados e garantir que as especificações dos clientes e requisitos governamentais estão a ser cumpridos antes e mesmo depois de se congelar o desenho, ou projecto do produto.

Stamatis (2003) aponta alguns benefícios para a FMEA de projecto:

- Estabelece prioridades para acções de melhoria do desenho/ projecto;
- Documenta razões para mudanças nos parâmetros do projecto;
- Fornecer informações adicionais de apoio a testes e verificações do projecto do produto;
- Permite identificar características significantes ou críticas;
- Auxilia na avaliação de requisitos do projecto e nas suas alternativas
- Permite identificar e eliminar potenciais problemas de segurança
- Identifica as falhas potenciais do produto ainda na fase de concepção e desenvolvimento do produto.

2.2.3 FMEA do processo

A FMEA do processo (PFMEA) compreende um estudo pormenorizado das diferentes partes do processo (fabricação e/ ou montagem) identificando os possíveis modos de falha antes do início de produção, potenciando a correcta definição/ escolha dos equipamentos a utilizar e identificação dos Cpks a controlar. A ênfase é colocada na prevenção ou na detecção de alterações na variável do processo que possam conduzir a um desvio das especificações do projecto.

Alguns *inputs* frequentes para o PFMEA são identificados:

- Características significativas e/ ou críticas;
- Informações do desenho;
- Fluxo do processo e informação sobre as especificações e requisitos do cliente;
- Requisitos de testes e avaliações;
- Histórico da performance de fabricação;
- Identificação dos métodos para controlo do processo.

Quando disponível, muitos destes itens de entrada são provenientes das acções recomendadas do DFMEA. A DFMEA e a PFMEA estão muito correlacionadas entre si, por exemplo: uma

causa identificada no projecto do produto está frequentemente relacionada com os modos de falha no processo.

2.2.4 Integração do DFMEA e PFMEA

Na indústria automóvel e aeronáutica é muito frequente as companhias usarem a FMEA do projecto e a FMEA do processo de forma integrada.

Normalmente a FMEA de processo tem início quando os relatórios da FMEA de projecto são disponibilizados, assim é possível identificar potenciais falhas que podem ser causadas pelo processo de fabricação, montagem, máquinas, equipamentos e métodos de produção (Teng & Ho, 1996).

Durante a fase de projecto, grande parte dos protótipos ou subconjuntos são criados por técnicos e/ ou engenheiros experientes, mas que não conhecem o ambiente de fabricação, logo não têm em conta o efeito de tempo de ciclo, desgaste de ferramentas e mesmo a complexidade dos processos (Teng & Ho, 1996). Devido a isso, alguns problemas não previstos inicialmente, vão certamente ocorrer durante o período normal de produção, portanto a execução destes dois procedimentos FMEA de forma integrada é muito importante e benéfica para um controlo da qualidade eficiente em novos produtos e processos, ou outros já existentes. Neste sentido é importante que a equipa responsável pela FMEA actualize de forma continua a tabela FMEA para melhorar o desenvolvimento do produto e o processo de produção.

Alguns benefícios apontados ao PFMEA são:

- Identificar deficiências e falhas no processo e desenvolver planos de acção correctiva para os problemas identificados;
- Definir prioridades das acções correctivas;
- Auxiliar na avaliação dos processos de montagem e fabricação.

2.2.5 FMEA de serviços

Dado o crescente número de empresas de prestação de serviços (serviços pessoais e sociais, transporte, finanças, publicidade, reparação, comunicação, apoios a indústrias de fabricação), o acirramento da competitividade e a qualidade do serviço prestado torna-se condição essencial a sobrevivência de algumas empresas no mercado.

A FMEA tem sido utilizada no sector dos serviços para avaliar a performance dos serviços prestados, identificando problemas sobre falhas do serviço que têm consequências para o cliente. Assim é possível criar recursos que possam atrair e manter os clientes satisfeitos, leais e

a falar bem da empresa, tornando também as empresas de serviços mais eficientes (Chuang, 2007).

De acordo com Stamatis (2003) os benefícios da FMEA de serviço são:

- Auxílio na análise do fluxo de trabalho;
- Auxílio na análise do sistema e/ ou processo;
- Identificação de tarefas deficientes;
- Identificação de tarefas críticas ou significantes e auxílio no desenvolvimento de planos de controlo;
- Estabelecimento de prioridades para as acções de melhoria.

A Figura 2.1 mostra alguns constituintes, o foco principal e o objectivo dos vários tipos de FMEA.

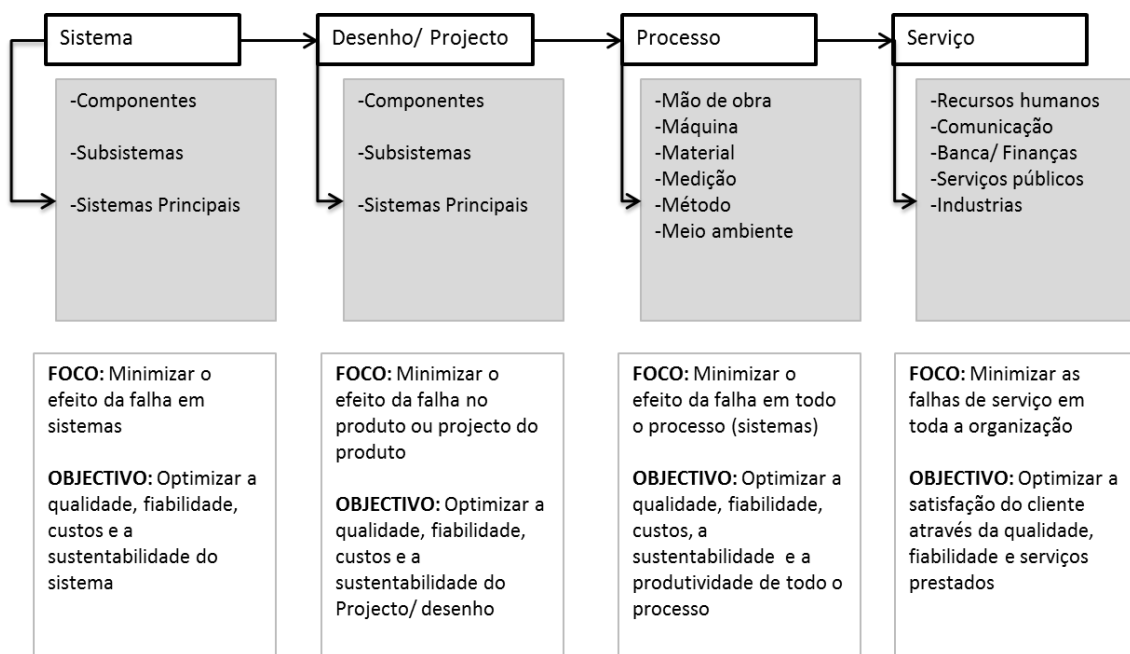


Figura 2.1: Aplicações da FMEA: Foco principal e objectivos, adaptado de (Stamatis, 2003).

2.3 Procedimento da FMEA

2.3.1 Etapas de implementação da FMEA

A metodologia FMEA passa por seguir os passos principais a baixo definidos:

- Definir o processo em estudo: definir o âmbito da FMEA, o processo a analisar e objectivos para o produto/ processo (normalmente é identificada entre os componentes/ fluxograma do processo seguido de uma análise das tarefas).

-Criar uma equipa: nesta fase é necessário definir quem vai fazer parte da equipa de trabalho, sendo que esta deve ser multidisciplinar.

-Definir os modos de falha potencial: identificação de falhas potenciais em produtos/ processos (estes incluem problemas, preocupações e oportunidades de melhoria)

-Identificar os efeitos: descrição das consequências de uma falha de um sistema, peça, processo de produção, etc. Normalmente, um modo de falha pode ter vários efeitos, dependendo do cliente que se considera.

-Identificar causa raiz: descrição da razão fundamental (causa raiz) que está na origem do modo de falha.

Estes passos da fase de implementação estão resumidos na Figura 2.2.

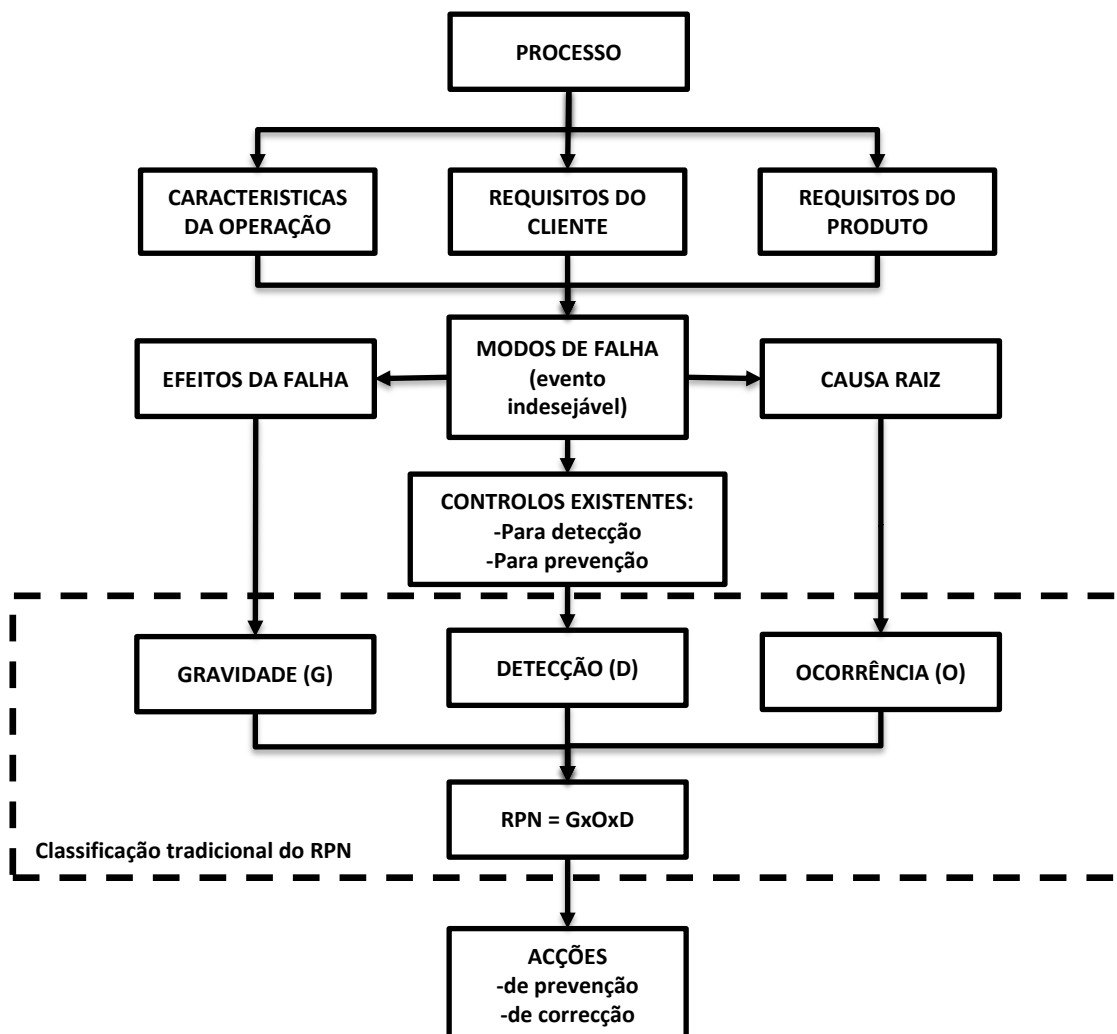


Figura 2.2: Fluxograma do processo para analisar os modos de falha, adaptado de (Tay & Lim, 2006).

2.3.2 Ferramentas de apoio a implementação da FMEA

Existem inúmeras ferramentas que estão directamente ligadas e ajudam a fase de elaboração da análise dos modos de falhas. É o caso de algumas ferramentas da qualidade (Diagrama da árvore, Diagrama de fluxo do processo, Plano de controlo, etc.) que são usadas de forma rotineira pelas organizações e que contribuem para a identificação e resolução estruturada de problemas.

Diagrama de Fluxo

O Fluxograma é uma ferramenta da qualidade utilizada nas diversas empresas para conhecerem os processos que estão sob a sua responsabilidade. Este diagrama é utilizado para ilustrar de forma ordenada as diversas etapas, entradas e saídas que, de forma sequencial, contribuem para a obtenção de um produto final (Pereira & Requeijo, 2008). Na Figura 2.3 está representado um fluxograma na forma simplificada.

Apesar da literatura referir que o Fluxograma ou Diagrama de Fluxo é uma ferramenta da qualidade, num contexto industrial não é inteiramente correcto, pois esta ferramenta é inicialmente definida pela Engenharia de Processo e validada pela área da Qualidade, sendo da responsabilidade desta última a identificação das fases de inspecção, processos de controlo a utilizar e Cpks a monitorizar.

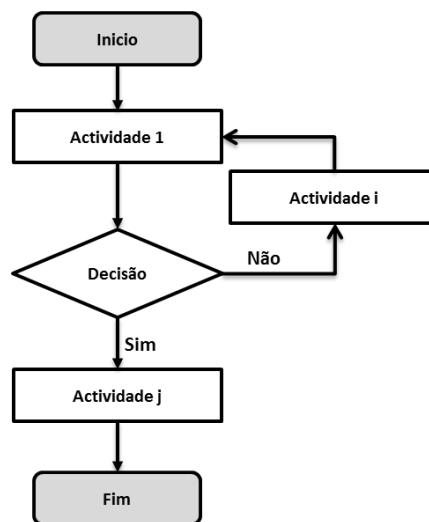


Figura 2.3: Representação simplificada de um Fluxograma (Pereira & Requeijo, 2008).

Brainstorming

O *brainstorming* é uma técnica que envolve a participação de várias pessoas, para que todos contribuam com ideias e soluções inovadoras para a resolução de um problema.

Este envolvimento assegura um maior comprometimento com as acções e um sentimento de responsabilidade partilhado por todos.

Diagrama em árvore

O diagrama em árvore (Figura 2.4) é uma ferramenta de carácter proactivo, tem a forma de um organigrama e permite ilustrar com grande detalhe todas as alternativas em eventos, assegurando que todos os passos possíveis para a resolução de um problema estão a ser dados e que as linhas lógicas traçadas são coerentes (Pereira & Requeijo, 2008).

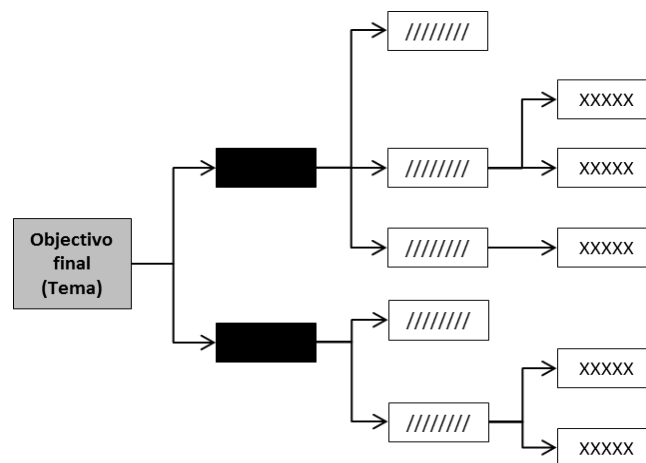


Figura 2.4: Diagrama em Árvore (Pereira & Requeijo, 2008).

Plano de controlo

O plano de controlo é um plano que garante a qualidade dos produtos/ processos específicos para satisfazer requisitos dos clientes e eliminar quaisquer problemas relacionados com a fabricação e/ ou uso do produto final. O plano de controlo deve identificar todos as características críticas dos processos e produtos que requerem acções de controlo durante a produção.

O plano deve conter a descrição do método de detecção e controlo de falhas para cada processo e como controlar o processo de produção (Teng & Ho, 1996).

O plano de controlo é utilizado para:

- Avaliar o processo o produtivo através de inspecções, planos de amostragem, cartas de controlo, utilização de ferramentas “anti-erro”;
- Garantir que todos os requisitos de processo, desenho, materiais, cliente, entidades certificadoras, entre outros são garantidos;
- Identificar todas as normas, ferramentas de produção e inspecção utilizados;

- Documentar estratégias de prevenção, correcção e reacção para possíveis produtos não conformes.

Assim, o plano de controlo do processo é a espinha dorsal para o SPC (*Statistical Process Control*/ controlo estatístico do processo), sendo o seu desenvolvimento fundamental para o sucesso (Teng & Ho, 1996).

Na Figura 2.5 apresenta-se a articulação entre as ferramentas mencionadas anteriormente para elaboração da FMEA.

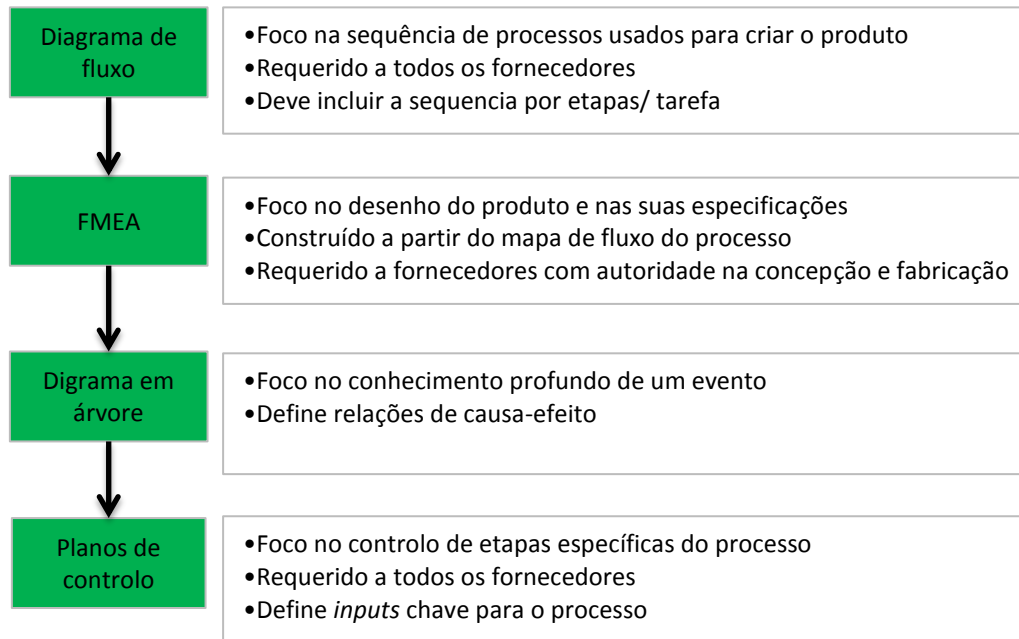


Figura 2.5: Interação entre algumas ferramentas de apoio à FMEA

2.4 Classificação e priorização do risco

A definição do número prioritário de risco (RPN) permite pontuar os modos de falha através de três factores, a gravidade do efeito da falha (G), a frequência de ocorrência do modo de falha (O) e a probabilidade da falha ser detectada (D) (Yang, Huang, He, Zhu, & Wen, 2011).

Estes factores são definidos numa escala numérica e subjectiva pontuadas de 1 a 10.

Nas tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam-se a classificação dos parâmetros da FMEA (G, O e D) sugerida na literatura para a pontuação dos modos de falha.

Capítulo 2. Abordagem Teórica

Tabela 2.1: Tabela para pontuação da (G), adaptado de (Liu *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang *et al.*, 2011)

Pontuação	Valor linguístico	Descrição
1, 2	Mínima	Sem qualquer efeito discernível no desempenho do sistema ou o mesmo é insignificante. Leve inconveniência para o processo, operação ou operador.
3, 4	Baixa	Impacto baixo no desempenho do sistema. Pode necessitar de retrabalho.
5, 6	Moderada	Impacto moderado no desempenho do sistema. 100% da serie de produção requer retrabalho.
7, 8	Alta	Pode afectar seriamente o desempenho do sistema. 100% do produto pode ter de ser sucitado.
9, 10	Muito alta	A falha é perigosa e ocorre sem aviso. Não cumpre legislação governamental e/ ou de segurança.

Tabela 2.2: Tabela para pontuação da (O), adaptado de (Liu *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang *et al.*, 2011)

Pontuação	Valor linguístico	Descrição	Taxa de falha
1	Remota	A falha é muito improvável	<=1 em cada 10 ⁶ (0.0001 %)
2	Baixa	Relativamente muito poucas falhas	1 em cada 100.000 (0.001 %)
3			1 em cada 10.000 (0.01 %)
4	Moderada	A falha é ocasional	1 em cada 2.000 (0.05 %)
5			1 em cada 500 (0.2 %)
6			1 em cada 100 (1 %)
7	Alta	Ocorrem falhas repetidas	1 em cada 50 (2 %)
8			1 em cada 8 (12.5 %)
9	Muito alta	Ocorrência inevitável ou certa da falha	1 em cada 4 (25 %)
10			>=1 em cada 2 (50 %)

Tabela 2.3: Tabela para pontuação da (D), adaptado de (Liu *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2005; Vinodh & Santhosh, 2012; Yang *et al.*, 2011)

Pontuação	Valor linguístico	Descrição
1, 2	Quase certa	Probabilidade de detecção muito alta. Existem mecanismos de prevenção de erro.
3, 4	Probabilidade alta	Boas hipóteses de ser detectado. Detecção na estação de trabalho, antes do processamento.
5, 6	Probabilidade moderada	Provavelmente será detectado. Detecção na estação de trabalho, após processamento.
7, 8	Probabilidade baixa	Provavelmente não será detectado a falha (causa). Detecção fora da estação de trabalho, após processamento.
9, 10	Quase impossível	Sem oportunidade de detecção. Não existe controlo no processo.

Cálculo do RPN tradicional:

O RPN tradicional da FMEA é obtido para cada modo de falha, multiplicando as três variáveis:

$$RPN = G \times D \times O$$

Sendo que o modo de falha com RPN mais alto deve ser o primeiro a sofrer acções de melhoria.

2.5 Limitações da FMEA tradicional

A FMEA tradicional tem sido uma das ferramentas de avaliação risco mais utilizada pelas indústrias para definir acções correctivas e preventivas na ocorrência de erros e modos de falhas em sistemas, produtos, processos e serviços (Yang *et al.*, 2011). No entanto é possível encontrar na literatura várias limitações à sua aplicação no procedimento para definição dos índices de risco e priorização das acções correctivas e preventivas (Liu *et al.*, 2013).

São várias as limitações apontadas pelos autores à utilização do RPN tradicional.

Liu *et al.* (2013), Gargama & Chaturvedi (2011), Sharma & Sharma (2010) e Chang, Liu, & Wei (2001) apontam as seguintes limitações:

- (1) A importância relativa entre G, O e D não é tida em consideração;
- (2) A interdependência entre os vários modos de falha e seus efeitos não é tida em consideração;
- (3) Os três factores de risco são difíceis de avaliar de forma precisa;
- (4) O RPN ignora o efeito da quantidade de produção;
- (5) O RPN não considera pesos para os factores, estes pesos podem existir na vida real.

A fórmula de cálculo do RPN é então muito questionável.

De acordo com os autores (Gargama & Chaturvedi, 2011; Liu *et al.*, 2013; Sharma & Sharma, 2010) combinações diferentes de G, D e O podem produzir exactamente os mesmos resultados de RPN, mas as suas implicações no risco serem totalmente diferentes.

Se se tiver em conta dois eventos diferentes com os valores G1=4, O1=3, D1=5 e G2=10, O2=1, D2=6 respectivamente, ambos os eventos têm um total de RPN de 60, no entanto as implicações de risco para estes dois eventos podem não ser necessariamente as mesmas (Sharma *et al.*, 2005).

Uma outra desvantagem, como já referido anteriormente, deve-se ao facto de este não ter em conta a relativa importância entre G, O e D.

Por exemplo um modo de falha com índice de gravidade muito alto, taxa de ocorrência baixa e detecção moderada (valores 9, 3, e 5 respectivamente) terá um RPN baixo (135) quando comparado com outro modo de falha de parâmetros moderados (valores 5, 6 e 6 cujo RPN é 180) e portanto com maior prioridade para as acções correctivas (Sharma *et al.*, 2005).

O modo de avaliação do RPN tradicional assume que os três parâmetros têm a mesma importância, mas na prática a importância relativa entre estas variáveis existem.

Como alternativas a estas limitações, várias considerações têm sido apresentadas na literatura tal como a teoria *Grey*, os sistemas de inferência *Fuzzy* e a análise baseada nos custos (Geum, Cho, & Park, 2011).

CAPÍTULO 3

ABORDAGEM EXPERIMENTAL

3.1 Caracterização da empresa

A OGMA é uma empresa com actividades no sector aeronáutico.

Desde 1918, quando foi fundada, que a empresa esta situada em Alverca (Portugal) e aí possui o seu centro de fabricação e manutenção de aeronaves.

A empresa foi privatizada em 2004, passando a sua estrutura accionista a ser composta pela EMBRAER S.A. (65%) e pelo governo português (35%). Esta mudança, que foi muito significativa, permitiu tornar a empresa mais competitiva à escala mundial, expandindo-a para novos mercados.

A empresa dedica-se a dois ramos de negócios fundamentais ao seu crescimento sustentado:

- O negócio de aeroestruturas - para fabricação de peças e componentes para avião;
- O negócio de manutenção aeronáutica que presta serviços na área de manutenção, tanto para o mercado da aviação civil como para o militar.

O volume de negócios da empresa, distribuídos por estes dois negócios, atingiu em 2012 os 159,3 milhões de euros.

Sistema de qualidade da empresa

Para garantir a satisfação dos seus clientes, parceiros e accionistas, a empresa tem vindo a melhorar bastante a eficácia do seu sistema da qualidade. A operação eficaz de um sistema de gestão da qualidade tem-se tornado essencial na redução do risco e no aumento da fiabilidade perante os clientes.

A empresa possui inúmeras certificações¹ para a gestão da qualidade. O seu sistema de gestão da qualidade, está certificado com a ISO 9001, AS 9100, AQAP 2110 e NADCAP para alguns processos. Já o seu sistema de gestão ambiental, está certificado com a ISO 14001.

Para além da AQAP 2110, certificação da Força Aérea Portuguesa para aviação militar, a empresa esta certificada por várias entidades de regulamentação aeronáutica como o INAC

¹ Conjunto de actividades realizadas por uma entidade de terceira parte (entidade certificadora) para atestar e declarar que um processo, produto, serviço, pessoa ou sistema esta em conformidade com os requisitos técnicos especificados.

(Instituto Nacional de Aviação Civil), EASA (Agência Europeia para a Segurança Aérea), NATO (Organização do Tratado Atlântico do Norte) e FAA (Agência Federal de Aviação).

A OGMA é reconhecida como centro de manutenção para produtos de diversos fabricantes como Lockheed Martin, Embraer, Rolls-Royce, entre outros.

A empresa controla ainda os seus processos de fabricação usando livros de trabalho, e um sistema de normas (NS) que deve ser seguido durante toda a fase de processo.

Processos de Fabricação

Como já foi referido anteriormente as áreas de negócio da OGMA são: a área de aeroestruturas que inclui a montagem e maquinação de estruturas metálicas e a área de fabricação de peças em material compósito.

Devido a razões de confidencialidade algumas informações de carácter mais técnico vão ser omitidas, ainda assim a informação aqui disponibilizada é suficiente para compreender todo o processo de fabricação que irá ser aqui objecto de estudo e desenvolvimento. O processo em estudo vai ser denominado por “fabricação de peças em material compósito”.

A Figura 3.1 mostra de uma forma “macro” as várias tecnologias e processos usados na fabricação e montagem de peças simples e subconjuntos.

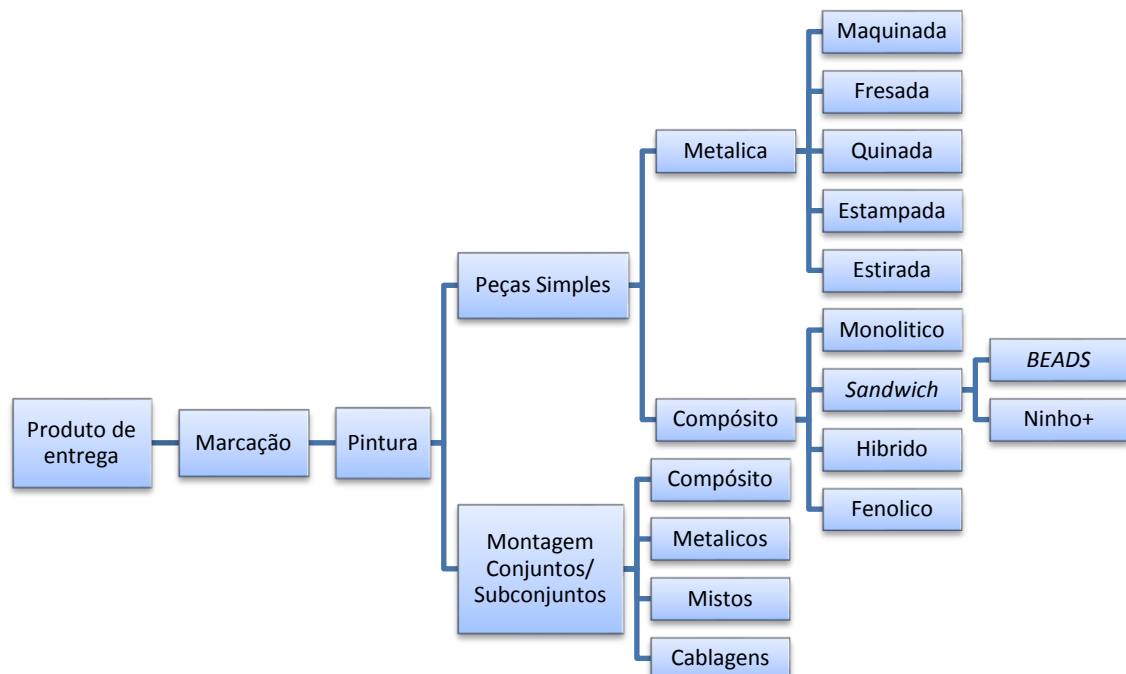


Figura 3.1: Diagrama das tecnologias e processos de fabricação e montagem de produtos da empresa.

Na representação do fluxograma ilustrativo do processo, o processo de fabricação de peças em material compósito será detalhado de forma mais completa.

3.2 Apresentação do caso de estudo

O trabalho aqui desenvolvido baseia-se na aplicação da FMEA ao processo de fabricação de um produto em material compósito para posterior priorização de acções.

O trabalho de implementação da metodologia FMEA no processo de fabricação realizou-se no departamento da qualidade na OGMA.

O mercado da indústria aeronáutica tem evoluído bastante, nomeadamente no que à internacionalização diz respeito. A OGMA é uma empresa cliente, mas também fornecedora de serviços para um mercado internacional, desta forma os clientes exigem níveis de qualidade elevadíssimos.

O departamento da qualidade, onde decorreu o presente estudo existe na OGMA com o intuito de controlar e fazer-se cumprir um conjunto de normas e procedimentos, certificações e qualificações dos processos para que os bens produzidos satisfaçam, ou superem as necessidades e expectativas dos clientes.

A FMEA aparece como uma das principais ferramentas a serem usadas na empresa para controlo e avaliação do risco nos seus processos e produtos.

3.3 Formação da equipa de trabalho

Por ser um exercício de equipa houve a necessidade de criar uma equipa multidisciplinar na elaboração da FMEA. Fizeram-se representar várias áreas, como a Qualidade, a Produção, a Engenharia e a área para a Melhoria Continua.

Devido a este processo estar classificado como processo especial², na elaboração da FMEA é necessário a presença de um membro com formação/certificação para este processo, como é o caso da Engenharia da qualidade e/ ou dos operadores.

Na tabela 3.1 estão representados os vários departamentos envolvidos e carga horária disponibilizada na elaboração da análise do modo de falha.

Tabela 3.1: Desenvolvimento da FMEA: Equipa envolvida e tempo despendido

Departamento (Área)	Objectivos Estratégicos/ Tarefa	Tempo (h) gasto por pessoa e por 4 meses
Qualidade de Fabricação - Eng ^o da Qualidade	Validar os processos e produtos, garantir o cumprimento dos requisitos dos clientes, manter certificações.	64
Produção - 2 Operadores	Executar as tarefas identificadas pela eng ^a (Livros de trabalho).	64
Engenharia	Responsável pelo mapeamento do processo, análise de não conformidades e aplicação de melhorias no processo.	64
AMC (Agente de melhoria continua)	Responsável pela gestão e apoio na implementação de acções de melhoria continua nas áreas produtivas.	64

² Entenda-se como processo especial todos os processos que necessitam de qualificação para: Instalações, equipamentos e/ ou operadores.

3.4 Implementação da FMEA no processo de fabricação de peças em material compósito

3.4.1 Materiais Compósitos

Materiais compósitos são formados por uma combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência são insolúveis uns nos outros, usualmente denominados de matriz e reforço. As matrizes podem ser cerâmicas, metálicas ou poliméricas, e os reforços partículas, *whiskers* ou fibras de origem natural ou sintética.

Em peças / componentes estruturais ainda podem ser adicionados outros materiais tais como colmeia, perfis em *Beads*, etc, que modificam e melhoram as suas propriedades mecânicas.

Os materiais compósitos mais comuns são os de matriz polimérica compostos basicamente por um polímero (matriz de resina) reforçado com fibras tais como vidro, carbono ou aramida (Franco, 2008).

A orientação das fibras (0° , 90° , 45° , -45°) tem uma grande influência nas propriedades dos componentes finais (Carneiro & Teixeira, 2008).

As características finais de um material compósito dependem da natureza e propriedades individuais dos materiais, mas o modo como estes materiais são produzidos é também determinante.

A grande vantagem destes materiais para a indústria é o facto de apresentarem uma boa relação resistência-peso.

3.4.2 Fluxo do processo

Antes de iniciar o PFMEA propriamente dito, é necessário usar técnicas de mapeamento de processo para identificar todas as actividades que contribuem para o sucesso da operação.

Foi então possível definir as várias fases do processo referente à fabricação de peça em material compósito e elaborar um fluxograma ilustrativo de todo o processo (Figura 3.2).

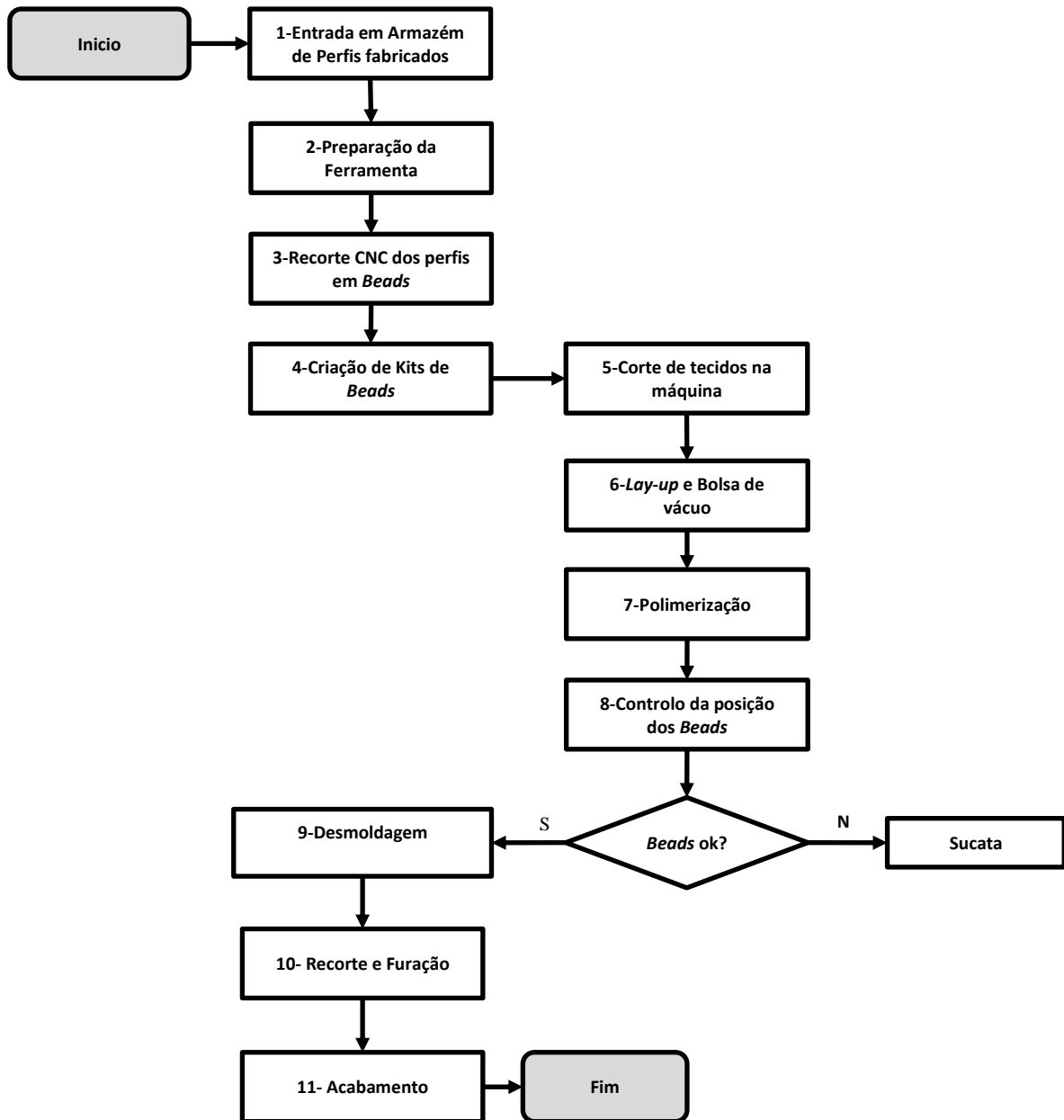


Figura 3.2: Fluxograma Macro do processo: Fabricação de material compósito.

Para melhor compreensão, é feita a descrição de cada etapa do processo de fabricação de peças em material compósito.

1- Entrada em Armazém de perfis fabricados

Os perfis de espuma são agrupados em *kits* para dar entrada em armazém antes da fase de fabricação.

2- Preparação da ferramenta

O molde para fabricação (laminação) é preparada com produto desmoldante (tipo cera) e antes da sua ultimação, limpo com MEK (metil-etil-acetona). O objectivo desta preparação é de

impedir que os tecidos após curados fiquem agarrados aos moldes, provocando danos nas peças e nos moldes.

3- Recorte CNC dos perfis em *BEADS*

Os perfis de espuma são cortados em *BEADS* através de máquinas programadas para corte por controlo numérico (CNC).

4- Criação de *kits* de *BEADS*

As peças de espuma cortadas anteriormente no programa CNC são agrupadas em *kits* de *BEADS*, ficando prontas para uso na fabricação.

5- Corte de tecidos na máquina

Os tecidos de fibra são cortados, agrupados em *kits*, e depois transportados para área de fabricação

6- *Lay-up* e Bolsa de Vácuo

O processo de *Lay-up* (laminação) consiste no empilhamento de tecidos (carbono, kevlar, fenólicos, aramida, fibra de vidro, etc) com diferentes orientações. Em peças cuja configuração é mais complexa (raios, ângulos, rebaixos) utilizam-se espátula para acomodar as camadas correctamente e impedir que durante o processo de cura não surjam “pontes”, acumulação de resina e vazios em áreas críticas.

Nesta etapa são colocados os *BEADS* em espuma entre as camadas de forma a obter-se a configuração estrutural pretendida para a peça final.

Após finalizado o *Lay-up* é feita a aplicação da Bolsa de Vácuo (também conhecida como saco de vácuo) que consiste na construção de um saco sobre toda a área da peça e extracção do ar através de uma bomba de vácuo. Este processo permite eliminar todos os voláteis existentes entre as camadas e garantir a compactação dos tecidos.

7- Polimerização

O material laminado no molde passa agora por um processo de cura/ polimerização feito numa autoclave ou estufa, com temperatura e pressão definida pelo tipo de material ou conjugações de materiais e requisitos de cliente.

8- Controlo da posição dos *BEADS*

Com ferramentas auxiliares desenvolvidas para o efeito, a peça passa por um controlo para verificar a posição dos *BEADS*.

9- Desmoldagem

Processo de separação da peça do molde com ou sem auxílio de ferramentas não metálicas.

10- Recorte e furação

A peça é cortada e são feitas furações para fixação de outros componentes.

11- Acabamento

A peça deve ter um bom acabamento final, que passa por lixar e polir as arestas e superfícies de forma a eliminar irregularidades.

3.4.3 Desenvolvimento das funções/ tarefas das actividades do processo

Com auxílio do fluxo do processo anteriormente definido e ainda antes de identificar os modos de falha, foi necessário desenvolver as funções de cada fase do processo. Esta função é a referência para verificar quando um item falha ou não. Criou-se uma lista exhaustiva das funções de cada fase do processo. A tabela 3.2 mostra um exemplo das funções para a actividade 5-“Corte de tecidos na máquina CNC”.

Tabela 3.2: Descrição funcional e requisitos da actividade 5-Corte de tecido na máquina CNC

<i>Descrição Funcional</i>		
<i>Nº. Ref</i>	<i>Passo do processo/ Tarefa</i>	<i>Requisito (s)</i>
5	CORTE DE TECIDOS NA MAQUINA (CNC)	
5.1	SELECCIONAR TECIDO	PVU conforme
5.2	DESCONGELAR TECIDOS	Seguir documentação técnica
5.3	CORTE DE TECIDO NA MÁQUINA	Seguir programa correcto Anexar fichas de controlo PVU

Apesar de descrever a função do processo na sua forma mais simples é também necessário descrever os requisitos dessa função (ver tabela 3.2).

Para isso foi necessário ter em conta os seguintes parâmetros:

- Características/ e ou requisitos de processo;
- Condições da operação e parâmetros do processo;
- Requisitos de cliente e especificações do produto (especificações técnicas);
- Recursos internos disponíveis (limitações de área, máquinas, ferramentas para fabricação).

3.4.4 Identificação dos modos de falha e seus efeitos

Modos de Falha

O modo de falha é a descrição concisa de como uma peça, sistema ou processo podem eventualmente (não necessariamente) falhar no desempenho das suas funções.

Devido à extensão do conteúdo do trabalho realizado, no âmbito desta dissertação vai ser apenas dado enfoque à avaliação dos modos de falha para os processos de *Lay-up* e Bolsa de Vácuo (processo 6 do Anexo AI).

A pergunta chave aqui é “o que pode correr mal?” (Stamatis, 2003), tendo em conta três pontos fundamentais:

- 1º- O desempenho funcional do processo;
- 2º- Os requisitos do processo;
- 3º- Outros (que não têm a ver com a função do processo nem com os requisitos).

É sempre de referir a experiência e a colaboração activa dos operadores nesta fase da avaliação.

Efeitos

Numa sessão de *brainstorming* com a equipa definida inicialmente para o trabalho, descreveu-se as consequências de cada falha para o produto. Os efeitos de cada modo de falha estão descritos nas tabelas do Anexo AI.

3.5 Identificação das causas potenciais

Como é sabido um dos maiores desafios na elaboração da FMEA é a recolha de dados e informações no que as falhas dizem respeito. Neste sentido houve necessidade de usar algumas ferramentas de apoio à implementação e análise da FMEA, como é o caso do diagrama em árvore.

Através da realização de mais uma sessão de *brainstorming* não estruturada partiu-se dos modos de falha identificados e procurou-se o “porquê” da ocorrência da falha.

O diagrama em árvore foi utilizado para o desdobramento dos modos de falha na medida de perceber quais as causas principais que estão na origem dos problemas.

As Figuras 3.3 e 3.4 representam os diagramas em árvore para os modos de falha “Programa errado” e “Camadas mal posicionadas”, respectivamente. Para os restantes modos de falha ver Anexo AII.

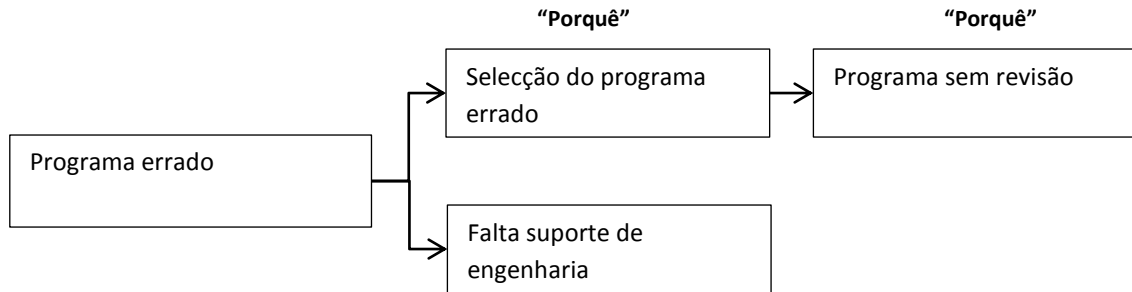


Figura 3.3: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Programa errado”.

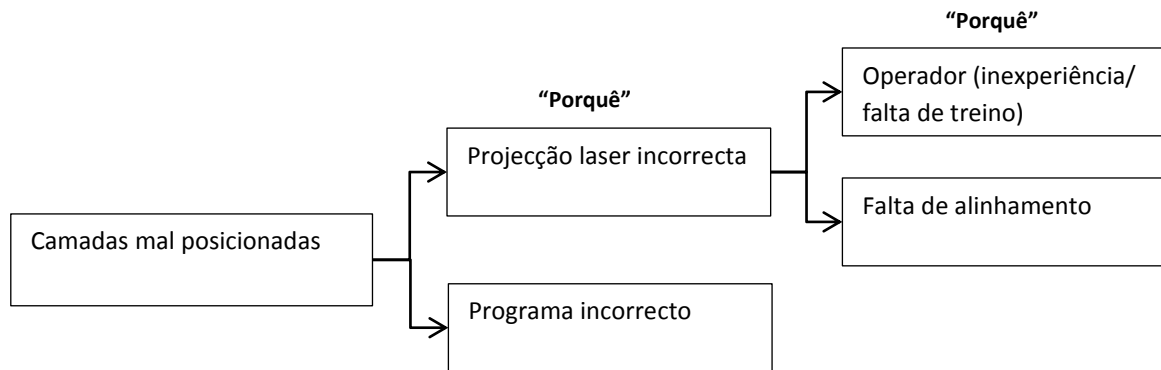


Figura 3.4: Diagrama em árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Camadas mal posicionadas”.

Os diagramas neste trabalho foram reduzidos às causas principais que na opinião dos profissionais, são as que interessam estudar por terem maior importância ou influência na ocorrência das falhas.

Os modos de falha, efeitos e causas identificadas para o processo “*Lay-up* e Bolsa de Vácuo” estão visíveis na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Lay-up e Bolsa de Vácuo: Modos de falha, efeitos e causas raiz.

<i>Descrição Funcional</i>			<i>Análise de Riscos</i>		
<i>Nº. Ref</i>	<i>Passo do processo/ Tarefa</i>	<i>Requisito (s)</i>	<i>Modos de Falha Potenciais</i>	<i>Efeitos Potenciais do Modo de Falha</i>	<i>Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)</i>
6 LAY-UP E BOLSA DE VÁCUO					
6.1	ALINHAR E TRAVAR FERRAMENTA E SELECÇIONAR PROGRAMA	Definir programa	Programa errado	-Erro na geometria/ dimensão da peça	-Seleção do programa errado -Falta suporte engenharia -Programa sem revisão -Programa mal executado
			Ferramenta mal alinhada	-Erro na geometria/ dimensão da peça	-Incumprimento NS -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Uso de ferramenta inadequada
			Ferramenta mal travada	-Erro na geometria/ dimensão da peça	-Operador (inexperiência/ falta de treino)
6.2	LAY-UP	Sequência Camadas conforme Livro de Trabalho e desenho Projecção Laser	Programa LASER incorrecto	-Erro na geometria/ dimensão da peça	-Seleção do programa errado -Falta suporte de engenharia -Programa mal executado
			Camadas mal posicionadas	-Erro na geometria/ dimensão da peça	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Projecção laser incorrecta -Falta de alinhamento -Programa incorrecto
			Falta camada	-Erro na geometria/ dimensão da peça (espessura)	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Programa errado -Faltou corte de camada
			Camada em excesso	-Erro na geometria/ dimensão da peça (espessura)	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Programa errado

Tabela 3.3 (Continuação): Lay-up e Bolsa de Vácuo: Modos de falha, efeitos e causas raiz.

<i>Descrição Funcional</i>			<i>Análise de Riscos</i>		
<i>Nº. Ref</i>	<i>Passo do processo/ Tarefa</i>	<i>Requisito (s)</i>	<i>Modos de Falha Potenciais</i>	<i>Efeitos Potenciais do Modo de Falha</i>	<i>Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)</i>
6.2			DOE (corpo estranho)	-Contaminação da peça	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Falta cultura aeronáutica -Falta procedimento de verificação -Falta de limpeza
6.3	DESCONGELAR RESINA	Controlo PVU da Resina	Resina fora da PVU	-Contaminação da peça	-Falta de controlo do PVU -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Não seguir NS
			Descongelamento insuficiente	-Porosidade	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Alteração de prioridades produtivas -Não seguir NS -Falta de equipa dedicada
6.4	APLICAR RESINA	Conforme Livro de Trabalho	Excesso de resina	-Rugas	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho
			Resina insuficiente	-Erro na geometria/ dimensão da peça (camada deslocada)	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho
			Aplicação com equipamento inadequado	-Contaminação da peça (DOE)	-Falta de equipamento adequado
			Contaminação da resina (resíduos)	-Contaminação da peça (DOE)	-Utilização de recipientes sujos -Falta de condições ambientais (poeiras)

Tabela 3.3 (Continuação): *Lay-up* e Bolsa de Vácuo: Modos de falha, efeitos e causas raiz.

Descrição Funcional			Análise de Riscos		
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito (s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)
6.5	REALIZAR PRÉ-COMPACTAÇÕES e EXECUTAR SEQUÊNCIA DE LAY-UP	Conforme Livro de Trabalho	Falta de pré-compacção	-Rugas; Espessura; Erro na geometria/dimensão da peça -DOE	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Falta de equipamento adequado -Alteração de prioridades produtivas
			Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	-Erro na geometria/dimensão da peça	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Ferramenta mal posicionada
			Erro na documentação	-Erro na geometria/dimensão da peça	-Erro no desenho (Cliente) -Modificações não implementadas
6.6	POSICIONAR BEADS	Usar mascara de posicionamento	Posicionamento incorrecto dos BEADS	-Erro na geometria/dimensão da peça	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Erro dimensionais no <i>template</i> -Ausência de <i>template</i>
			Troca de BEADS	-Erro na geometria/dimensão da peça	-Troca de KITS -Erro na documentação -Alteração de prioridades produtivas -Operador (inexperiência/ falta de treino)
6.7	COLOCAR TERMOPARES	Controlo posicionamento termopares conforme livro de trabalho	Posicionamento incorrecto de termopares	-Delaminação	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Operador (inexperiência/ falta de treino)
			Colocar termopares danificados	-Peça sucatada	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Falta de registo de termopares
			Não colocar termopares	-Peça sucatada	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Falta de termopares

Tabela 3.3 (Continuação): *Lay-up* e Bolsa de Vácuo: Modos de falha, efeitos e causas raiz.

Descrição Funcional			Análise de Riscos		
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito (s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)
6.8	ENSACAMENTO FINAL EM VÁCUO	Utilizar filme desmoldante conforme livro de trabalho	Fuga de vácuo	-Porosidade	-Saco de vácuo danificado -Mangueira danificada - <i>Plug-in</i> da ferramenta danificado -Operador (inexperiência/ falta de treino)
			Material incorrecto	-Porosidade	-Utilização de saco incorrecto -Troca de referências (dos sacos) -Sacos danificados - <i>Plug-in</i> da ferramenta danificado
			Ensacamento incorrecto	-Porosidade	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Queda de vácuo

3.6 Avaliação do risco

3.6.1 Procedimento de *ranking* para priorização do risco através da FMEA tradicional

Gravidade

A gravidade é a classificação com o efeito mais sério para o cliente e representa o quão grave é o efeito do modo de falha para a fábrica, processo, cliente ou utilizador final.

O índice de gravidade é atribuído com base numa escala de 1 a 10 em que 1 corresponde a gravidade mínima, sem qualquer efeito no sistema e 10 representa a gravidade muito alta para o efeito da falha.

Uma redução nos índices de gravidade mais altos apenas é efectiva com uma mudança de engenharia (desenho) (*Failure Mode and Effects Analysis: FMEA Handbook*, 2004).

Ocorrência

Esta classificação numérica é baseada na experiência e no histórico de ocorrência de uma causa raiz. Refere-se a frequência com que a causa raiz pode ocorrer e resultar em um modo de falha.

Foi utilizada uma escala de 1 a 10 para definir a frequência de ocorrência, em que 1 representa uma frequência de ocorrência muito baixa ou remota e 10 representa a frequência de ocorrência muito alta.

Detecção

Assumindo que a falha ocorreu e tendo em conta os controlos actuais (de prevenção e detecção) qual é a probabilidade de esta ser detectada?

Para responder a esta questão considerou-se os controlos que são usados na prevenção e detecção dos modos de falha.

Foi utilizada uma escala numérica de 1 a 10 para definir a probabilidade de detecção, em que 1 representa probabilidade de detecção quase certa e 10 representa probabilidade de detecção quase impossível.

As tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 do capítulo 2 mostram os índices usados na classificação da Gravidade, Ocorrência e Detecção dos modos de falha.

Calculou-se os valores¹ do NPR para o processo de “*Lay-up* e Bolsa de Vácuo” tendo em conta a G, O e D.

Tabela 3.4: Número prioritário de risco para o processo *Lay-up* e Bolsa de Vácuo e respectivo *Ranking*

<i>Descrição Funcional</i>		<i>Análise de Riscos</i>					
<i>Nº. Ref</i>	<i>Passo do processo/ Tarefa</i>	<i>Modos de Falha Potenciais</i>	<i>Gravidade (G)</i>	<i>Ocorrência (O)</i>	<i>Deteção (D)</i>	<i>N.P.R.</i>	<i>Ranking</i>
6 Lay-up e Bolsa de Vácuo							
6.1	ALINHAR E TRAVAR FERRAMENTA E SELECIONAR PROGRAMA CNC	Programa errado	7	10	3	210	10
		Ferramenta mal alinhada	7	10	6	420	3
		Ferramenta mal travada	7	10	6	420	3
6.2	LAY-UP	Programa LASER incorrecto	7	7	4	196	11
		Camadas mal posicionadas	7	4	6	168	12
		Falta camada	7	10	6	420	3
		Camada em excesso	7	2	8	112	13
		DOE (corpo estranho)	7	10	4	280	7
6.3	DESCONGELAR RESINA	Resina fora da PVU	7	2	8	112	13
		Descongelamento insuficiente	7	10	8	560	1
6.4	APLICAR RESINA	Excesso de resina	7	2	8	112	13
		Resina insuficiente	7	2	8	112	13
		Aplicação com equipamento inadequado	7	10	4	280	7
		Contaminação da resina (resíduos)	7	8	8	448	2
6.5	REALIZAR PRÉ-COMPACTAÇÕES e EXECUTAR SEQUÊNCIA DE LAY-UP	Falta de pré-compactação	7	8	6	336	5
		Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	7	7	6	294	6
		Erro na documentação	7	2	4	56	14
6.6	POSICIONAR BEADS	Posicionamento incorrecto dos BEADS	7	7	5	245	8
		Troca de BEADS	7	8	6	336	5
6.7	COLOCAR TERMOPARES	Posicionamento incorrecto de termopares	7	8	8	448	2
		Colocar termopares danificados	7	10	4	280	7
		Não colocar termopares	7	2	4	56	14
6.8	ENSACAMENTO FINAL EM VÁCUO	Fuga de vácuo	7	10	5	350	4
		Material incorrecto	7	4	8	224	9
		Ensacamento incorrecto	7	2	4	56	14

Identificação das características críticas

Todos os produtos e processos têm características que são importantes e precisam ser controladas, no entanto algumas características (denominadas por características especiais) requerem maior atenção/ esforços para minimizar os efeitos de consequências adversas.

Estas características podem afectar a função segura do produto, o cumprimento de normas governamentais, a segurança do operador, a satisfação do cliente e portanto requerem acções de controlo especiais.

As características especiais devem ser incluídas no plano de controlo de forma a garantir que o produto atende a todos os requisitos de engenharia e questões de segurança para o operador.

Na tabela 3.5 apresentam-se as características especiais.

Tabela 3.5: Tabela de identificação de características especiais para o FMEA

Classificação	Descrição	Critério	Acções necessárias
Δ (Alto impacto)	Característica critica, têm impacto em requisitos governamentais relativamente a segurança e funcionalidade do produto.	Gravidade = 9, 10	Controlo especial
Característica significativa (SC)	Característica significante, Produtos ou requisitos de importância para a satisfação do cliente.	Gravidade = 5-8 Ocorrência = 4-10	Controlo especial
Segurança do operador (OS)	Não afectam o produto, mas podem ter impacto em regulamentos governamentais e/ ou de segurança.	Gravidade = 5-8 Ocorrência = 4-10	Destacar/ Identificar

De acordo com a tabela 3.5, no processo em estudo não foram identificadas características críticas de alto impacto (Δ). No entanto todos os modos de falha identificados estão na categoria SC e /ou OS, portanto medidas especiais e de controlo devem ser identificadas e postas em prática.

Na actividade “*Lay-up* e Bolsa de Vácuo” foram identificados 25 modos de falha. Na tabela 3.6 os modos de falha encontram-se já ordenados por um *ranking* de prioridade definido através do número RPN.

Tabela 3.6: Atribuição de *ranking* para os modos de falha com base índice RPN

	Modos de Falha – <i>Lay-up</i> e Bolsa de Vácuo	RPN	Ranking
MF1	Descongelamento insuficiente	560	1
MF2	Posicionamento incorrecto de termopares	448	2
MF3	Contaminação da resina (resíduos)	448	2
MF4	Ferramenta mal alinhada	420	3
MF5	Ferramenta mal travada	420	3
MF6	Falta camada	420	3
MF7	Fuga de vácuo	350	4
MF8	Troca de <i>BEADS</i>	336	5
MF9	Falta de pré-compacção	336	5
MF10	Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	294	6
MF11	Colocar termopares danificados	280	7
MF12	DOE (corpo estranho)	280	7
MF13	Aplicação com equipamento inadequado	280	7
MF14	Posicionamento incorrecto dos <i>BEADS</i>	245	8
MF15	Material incorrecto	224	9
MF16	Programa errado	210	10
MF17	Programa LASER incorrecto	196	11
MF18	Camadas mal posicionadas	168	12
MF19	Resina fora da PVU	112	13
MF20	Camada em excesso	112	13
MF21	Excesso de resina	112	13
MF22	Resina insuficiente	112	13
MF23	Erro na documentação	56	14
MF24	Não colocar termopares	56	14
MF25	Ensacamento incorrecto	56	14

Na tentativa de perceber quais dos 25 problemas exigem uma análise mais detalhada e posteriores reavaliações de melhoria foi utilizado o diagrama de Pareto (figura 3.5).

O diagrama de Pareto considera que 80% dos problemas existentes em um processo produtivo são causados por 20% das causas possíveis de os provocar (Pereira & Requeijo, 2008).

Tabela 3.7: Dados para a elaboração do diagrama de Pareto.

	Modo de Falha	RPN (Frequência absoluta)	%RPN (Frequência relativa)	%Acumulada (Frequência relativa acumulada)
MF1	Descongelamento insuficiente	560	9,2%	8,6%
MF2	Posicionamento incorrecto de termopares	448	7,3%	15,4%
MF3	Contaminação da resina (resíduos)	448	7,3%	22,3%
MF4	Ferramenta mal alinhada	420	6,9%	28,7%
MF5	Ferramenta mal travada	420	6,9%	35,2%
MF6	Falta camada	420	6,9%	41,6%
MF7	Fuga de vácuo	350	5,7%	46,9%
MF8	Troca de <i>BEADS</i>	336	5,5%	52,1%
MF9	Falta de pré-compactação	336	5,5%	57,2%
MF10	Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	294	4,8%	61,7%
MF11	Colocar termopares danificados	280	4,6%	66,0%
MF12	DOE (corpo estranho)	280	4,6%	70,3%
MF13	Aplicação com equipamento inadequado	280	4,6%	74,6%
MF14	Posicionamento incorrecto dos <i>BEADS</i>	245	4,0%	78,3%
MF15	Material incorrecto	224	3,7%	81,8%
MF16	Programa errado	210	3,4%	85,0%
MF17	Programa LASER incorrecto	196	3,2%	88,0%
MF18	Camadas mal posicionadas	168	2,8%	90,6%
MF19	Resina fora da PVU	112	1,8%	92,3%
MF20	Camada em excesso	112	1,8%	94,0%
MF21	Excesso de resina	112	1,8%	95,7%
MF22	Resina insuficiente	112	1,8%	97,4%
MF23	Erro na documentação	56	0,9%	98,3%
MF24	Não colocar termopares	56	0,9%	99,1%
MF25	Ensacamento incorrecto	56	0,9%	100,0%

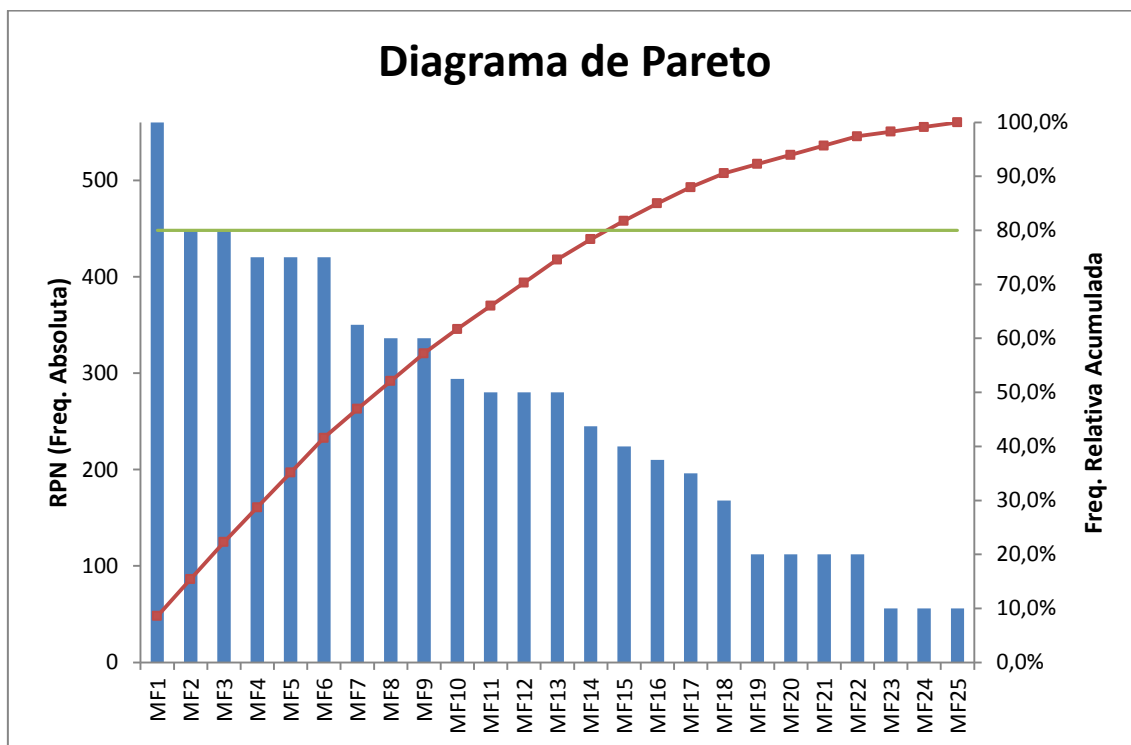


Figura 3.5: Diagrama de Pareto

Seguindo este princípio os modos de falha MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, MF7, MF8, MF9, MF10, MF11, MF12, MF13 e MF14 foram definidos como prioritários para uma análise mais cuidada e implementação de acções, pois são responsáveis por 80 % dos imprevistos.

3.6.2 Proposta para Classificação de Risco através do Teorema da relação Grey

Proposta por Deng em 1982, a teoria *Grey* é uma técnica usada no auxílio à tomada de decisão em ambientes de incerteza e explora o comportamento do sistema pela proximidade de cada alternativa com a solução ideal (Chang *et al.*, 2001).

Tendo em conta os 14 modos de falha destacados no ponto anterior como prioritários, propõe-se utilizar a análise da relação *Grey* para redefinição dos itens prioritários.

O princípio da análise da relação *Grey* passa por medir a correlação entre séries de comparação e séries de referência de forma a analisar e determinar o grau de influência ou contribuição dos factores no comportamento dos atributos (Geum *et al.*, 2011).

Sejam i as alternativas que representam os modos de falha, e j os factores característicos do FMEA (G, O, D).

A metodologia passa por seguir os seguintes passos:

1º Passo: Estabelecer uma série de comparação e uma série de referência.

Sejam X_{0j} e Y_{ij} o vector série de referência e o vector série de comparação respectivamente.

Na série de referência o valor da alternativa i é o melhor para o factor j , assim é o menor valor de pontuação (1, 1, 1).

Então a série de comparação (Y_{ij}) pode ser representada pela seguinte matriz:

	G	O	D
MF1	7	10	8
MF2	7	8	8
MF3	7	8	8
MF4	7	10	6
MF5	7	10	6
MF6	7	10	6
MF7	7	10	5
MF8	7	8	6
MF9	7	8	6
MF10	7	7	6
MF11	7	10	4
MF12	7	10	4
MF13	7	10	4
MF14	7	7	5

E a série de referência X_{0j} :

G	O	D
[1	1	1]

2º Passo: Cálculo da diferença entre a série comparativa e a série de referência: é dado pela seguinte fórmula:

$\Delta_{ij} = |X_{0j} - Y_{ij}|$, é possível obter a matriz seguinte:

	G	O	D
MF1	6	9	7
MF2	6	7	7
MF3	6	7	7
MF4	6	9	5
MF5	6	9	5
MF6	6	9	5
MF7	6	9	4
MF8	6	7	5
MF9	6	7	5
MF10	6	6	5
MF11	6	9	3
MF12	6	9	3
MF13	6	9	3
MF14	6	6	4

3º Passo: Determinação do coeficiente de relação.

O coeficiente de relação é usado para determinar quão perto a série comparativa está da série de referência (série ideal), quanto maior os coeficientes mais perto X_{0j} e Y_{ij} .

O coeficiente de relação é dado por: $\gamma(X_{0j}; Y_{ij}) = \frac{\Delta_{min} + \varepsilon\Delta_{max}}{\Delta_{ij} + \varepsilon\Delta_{max}}$ onde,

$\Delta_{min} = \min\{\Delta_{ij}\}$ é a mínima diferença obtida, portanto 3.

$\Delta_{max} = \max\{\Delta_{ij}\}$ é a máxima diferença obtida, portanto 9.

ε ($\in [0, 1]$) é o coeficiente de diferenciação, normalmente toma valor de 0,5 (Chang *et al.*, 2001).

O coeficiente de relação $\gamma(X_{0j}; Y_{ij})$ é dado pela seguinte matriz:

MF1	0,71	0,56	0,65
MF2	0,71	0,65	0,65
MF3	0,71	0,65	0,65
MF4	0,71	0,56	0,79
MF5	0,71	0,56	0,79
MF6	0,71	0,56	0,79
MF7	0,71	0,56	0,88
MF8	0,71	0,65	0,79
MF9	0,71	0,65	0,79
MF10	0,71	0,71	0,79
MF11	0,71	0,56	1,00
MF12	0,71	0,56	1,00
MF13	0,71	0,56	1,00
MF14	0,71	0,71	0,88

4º Passo: Cálculo do grau de relação.

Supondo que para o gestor o índice de gravidade e a ocorrência são os factores ao qual se deve dar uma atenção especial nos modos de falha, os coeficientes de ponderação (α_i) seriam então distribuídos da seguinte maneira:

$\alpha_G = 0,4$ (peso do factor gravidade)

$\alpha_O = 0,4$ (peso do factor ocorrência)

$\alpha_D = 0,2$ (peso do factor detecção) e $\alpha_G + \alpha_O + \alpha_D = 1$

O grau de relação para cada modo de falha em análise é dado por:

$$C_i = \alpha_G \times \gamma_G(X_0; Y_i) + \alpha_O \times \gamma_O(X_0; Y_i) + \alpha_D \times \gamma_D(X_0; Y_i)$$

	Ci
MF1	0,638
MF2	0,677
MF3	0,677
MF4	0,666
MF5	0,666
MF6	0,666
MF7	0,684
MF8	0,704
MF9	0,704
MF10	0,729
MF11	0,708
MF12	0,708
MF13	0,708
MF14	0,748

Neste caso em que se pretende priorizar as falhas de maior impacto, quanto menor o grau de relação com a série ideal maior a influência do modo de falha para o processo.

Assim os modos de falhas foram priorizados de acordo com o grau de relação como é mostrado na tabela 3.8.

Tabela 3.8: Ranking de prioridade pelo grau da relação Grey.

Modo de Falha (i)	Ci	Priorização (Grey)	Ranking RPN
MF1	0,638	1	1
MF2	0,677	3	2
MF3	0,677	3	2
MF4	0,666	2	3
MF5	0,666	2	3
MF6	0,666	2	3
MF7	0,684	4	4
MF8	0,704	5	5
MF9	0,704	5	5
MF10	0,729	7	6
MF11	0,708	6	7
MF12	0,708	6	7
MF13	0,708	6	7
MF14	0,748	8	8

Veja-se que os modos de falha MF2 e MF3 que na análise RPN aparecem em segundo lugar de prioridade passaram a ocupar o segundo lugar na tabela de prioridades Grey. O modo de falha MF10 na análise RPN aparece em sexto lugar, e devido a atribuição das ponderações este passa a estar em sétimo lugar de prioridade.

A utilização deste teorema permite as organizações, caso queiram, priorizar as variáveis de acordo com a importância/ impacto que esta tem para os seus processos ou projectos. Assim pode escolher-se de entre as variáveis G, O, D tendo em conta a importância relativa de cada alternativa, o que não é permitido pelos factores da FMEA.

Esta aplicação precisa no entanto de um maior suporte para se perceber se é realmente uma boa alternativa ao RPN tradicional.

3.6.3 Identificação de acções de correcção para os modos de falha

Numa tentativa de identificar o que pode ser feito para eliminar ou reduzir a futura ocorrência dos modos de falha identificados como tendo maior impacto para este processo foram definidas acções preventivas e correctivas.

As acções preventivas e correctivas tomadas abrangem pessoas, material e equipamentos.

Embora não referenciados na tabela 3.9, deve-se definir responsáveis e estabelecer datas para estas acções. Só assim é possível garantir o cumprimento destas acções.

Na tabela 3.9 estão identificadas algumas acções recomendadas para os 14 modos de falha priorizados no processo de “*Lay-up* e Bolsa de Vácuo”, no entanto, de futuro, devem ser definidas acções para o processo macro de fabricação.

Tabela 3.9: Acções recomendadas

Análise de Riscos		N.P.R.	Planos de Acções para Redução de Riscos				
Modos de Falha Potenciais	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)		Recomendações da Equipa			Resultados Validados	
			Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo	Acções Implementadas	Data de verificação
Descongelamento insuficiente	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Alteração de prioridades produtivas -Não seguir NS -Falta de equipa dedicada	560	-Criar instrução de operação padrão (IOP) para verificação PVU , condições de descongelamento, aplicação e segregação de resíduos após uso.				
Posicionamento incorrecto de termopares	-Incumprimento NS -Incumprimento Livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Operador (inexperiência/ falta de treino)	448	-Incorporar localização dos termopares na projecção laser; -Marcação das ferramentas (plano B).				
Contaminação da Resina (resíduos)	-Utilização de recipientes sujos -Falta de condições ambientais (poeiras)	448	-Criar IOP para verificação PVU , condições de descongelamento, aplicação e segregação de resíduos após uso.				
Ferramenta mal alinhada	-Incumprimento NS -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Uso de ferramenta inadequada	420	-Ferramenta deve ser imóvel. Desenvolvimento de auxiliar.				
Ferramenta mal travada	-Operador (inexperiência/ falta de treino)	420	-Ferramenta deve ser imóvel. Desenvolvimento de auxiliar.				
Falta camada	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Programa errado -Faltou corte de camada	420	-Sem acção definida.				
Fuga de vácuo	-Saco de vácuo danificado -Mangueira danificada -Plug-in da ferramenta danificado -Operador (inexperiência/ falta de treino)	350	-Criar IOP para verificação das tomadas de vácuo, <i>plug-in</i> das ferramentas.				

Tabela 3.9 (continuação): Acções recomendadas

<i>Análise de Riscos</i>		<i>N.P.R.</i>	<i>Planos de Acções para Redução de Riscos</i>				
<i>Modos de Falha Potenciais</i>	<i>Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)</i>		<i>Recomendações da Equipa</i>			<i>Resultados Validados</i>	
			<i>Acções Recomendadas</i>	<i>Resp.</i>	<i>Data/ Prazo</i>	<i>Acções Implementadas</i>	<i>Data de verificação</i>
Troca de BEADS	-Troca de <i>KITS</i> -Erro na documentação -Alteração de prioridades produtivas -Operador (inexperiência/ falta de treino)	336	-Criar carrinho/caixa de configuração com bead				
Falta de pré-compacção	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Falta de equipamento adequado -Alteração de prioridades produtivas	336	-Criar Instrução de trabalho para utilização de cavaletes no posicionamento/ fixação das ferramentas				
Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Ferramenta mal posicionada	294	-Criar IOP para que o operador utilize os cavaletes para posicionamento/fixação das ferramentas				
Colocar termopares danificados	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Falta de registo de termopares	280	-Verificação antes de uso -Serialização dos termopares -Substituição após 30 ciclos de cura				
DOE (corpo estranho)	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Falta cultura aeronáutica -Falta procedimento de verificação -Falta de limpeza	280	-Implementar equipamento para detecção primária de DOE				
Aplicação com equipamento inadequado	-Falta de equipamento adequado	280	-Criar IOP para aplicação correcta da resina				
Posicionamento incorrecto dos BEADS	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Erro dimensionais no <i>template</i> -Ausência de <i>template</i>	245	-Criar IOP com informação de encosto dos <i>Beads</i> conforme setas de posicionamento/alinhamento				

3.7 Plano de Controlo

Sendo um dos principais objectivos da realização da FMEA melhorar a qualidade e a fiabilidade do produto/ processo e garantir a satisfação dos clientes, este processo deve ir além da emissão e conservação de relatórios. Deve-se analisar os controlos previstos para o processo em discussão e compreender o potencial destes controlos na prevenção/ detecção das causas e modos de falha.

O plano de controlo descreve os métodos de inspecção e ferramentas usadas no processo de forma que seja possível minimizar as variações deste. O plano de controlo não deve substituir as instruções detalhadas da operação, mas sim complementar as informações nela contida (Dyadem, 2003).

Os *items* chave que precisam de ser controlados e mantidos para assegurar a qualidade do produto são (Dyadem, 2003):

- Controlo do produto dos fornecedores;
- Capacidade do processo de fabricação;
- SPC (controlo estatístico do processo);
- Inspeção e instruções de inspeção de testes laboratoriais;
- Medição e equipamentos de teste;
- Testes de desempenho de engenharia;
- Qualificação do produto e lote de amostragem;
- Controlo de produtos não conformes.

Na tabela 3.10 é apresentado um exemplo de plano de controlo utilizado na empresa com a descrição das informações contidas.

Tabela 3.10: Tabela exemplo para Plano de controlo com descrição dos campos

Control Plan											
Part Name		Part Number		Drawing No.			Drawing Revision/ Part List Revision			Serial Number	Purchase Order No.
Supplier Name		Supplier MFIR		Street Address/Zip Code				City / State / Country			
Prepared by				Original Date				Revision Date			
Processes				Remarks							
1	2	3	4	5	6						
Part / Process #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics			Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Processes	Product / Process Specification / Tolerance	Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
			4a	4b	4c	5a	5b	5c	5d	5e	

Campos do plano de controlo:

1. Part/ Process number

Número/ fase do processo ou subprocesso a ser controlado.

2. Process Name/Operation description

Descrição do processo/ operação a ser controlado.

3. Machine, Device, Jig, Tools for Mfg.

Ferramenta, gabarito, máquina utilizada para fabricação.

4. Characteristics

a. Characteristic number: Número da característica para todos os documentos aplicáveis, tais como Diagrama de fluxo, FMEA, etc.;

b. Product Characteristic: Características ou propriedades da peça ou um grupo de componentes (*assembly*) descritos nos desenhos ou noutra informação de engenharia;

c. Proces Characteristic: Variáveis do processo que têm uma relação de causa-efeito com as características do produto identificadas.

5. Methods

- a. **Product/ process specification tolerance:** Parâmetros/ tolerâncias de especificação do produto definidos pela engenharia (tolerâncias baseadas em requisitos de desenho);
- b. **Evaluation / Measurement Technique:** Métodos utilizados na medição das características do produto/ processo;
- c. **Sample Size:** Dimensão da amostra para inspeção (deve estar incluído os estudos R&R e/ ou Poka-Yoke);
- d. **Sample frequency:** Frequência de medição para fins de controlo da qualidade;
- e. **Control Method:** Descrição de como a operação deve ser controlada (deve reflectir o plano e a estratégia implementada no processo de produção).

6. Reaction plan

Plano de reacção que especifica as acções correctivas para situações de produto não conforme ou operações fora de controlo.

O plano de controlo deve ser utilizado como um documento vivo, que esta em constante actualização durante todo o ciclo de vida do produto (*never ending improvement*).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como seria de esperar, a produção é a área que mais recursos aloca na elaboração da FMEA, disponibilizando neste caso 2 operadores, o que representa um total de 128 horas gastas em 4 meses de trabalho (8hH por semana).

Fazendo uma análise dos resultados (esta análise é feita apenas para o subprocesso “*Lay-up* e Bolsa de Vácuo”, tendo por base o valor RPN) o “Descongelamento insuficiente” com RPN=560 é o modo de falha com prioridade 1 seguindo-se os modos de falha “Posicionamento incorrecto de termopares” e “Contaminação da resina” ambos com RPN=448. O primeiro deve-se ao não cumprimento das normas padrão (NS), à inexperiência e falta de formação dos operadores, alterações nas prioridades produtivas e à falta de equipa dedicada à operação de preparação de trabalho. O modo de falha “Posicionamento incorrecto” tem como causas o não cumprimento das normas (NS) ou instruções de trabalho definidas para aquelas tarefas, à inexperiência e falta de formação dos operadores.

A “Contaminação da resina” está relacionada com a utilização de recipientes sujos e a falta de condições ambientais (existência de poeiras) na sala de trabalho.

Algumas falhas como “Erro na documentação”, “Não colocar termopares” e “Ensacamento incorrecto” (todas com índice RPN=56) tiveram índice de risco muito baixo e portanto são as últimas na lista de prioridade, no entanto devem ser consideradas, devido à dependência em relação às outras etapas do processo de fabricação de compósitos.

Com a aplicação da análise relacional *Grey* as prioridades para os modos de falha passaram a estar ordenadas de outra maneira, o MF10 (“Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)”) passa a ocupar o 7º lugar na tabela de priorização, o MF2 e MF3 (“Posicionamento incorrecto dos termopares” e “Contaminação da Resina (resíduos)”) passam a ocupar o 3º lugar. Também os modos de falha MF11, MF12 e MF13 trocaram o lugar de prioridade, passando ambos a ter prioridade 6. Isto deve-se ao facto de, contrariamente à FMEA tradicional a análise *Grey* atribui pesos aos índices gravidade, ocorrência e detecção.

O modelo permite que com a entrada de novos dados seja possível simular novos cenários tornando evidentes outros problemas que possam afectar os processos da empresa. No entanto é preciso ter atenção que a contribuição dos pesos para os factores G, O e D devem ser atribuídos conforme o contexto de aplicação. Este estudo mostra que o uso da análise da relação *Grey* pode

contribuir de forma mais efectiva como ferramenta para priorização de risco, no entanto seria necessário um estudo mais intensivo para validar os resultados aqui obtidos.

Após uma fase em que se identificou e priorizou os modos de falha é extremamente necessário implementar as acções correctivas e após a conclusão destas acções, realizar um *follow-up* e avaliar os resultados das acções nos riscos identificados.

Antes uma FMEA demorada e burocrática, do que depararmo-nos com modos de falhas que podem resultar em custos elevados para a organização e risco no processo ou no produto.

Algumas questões (desafios FMEA) foram levantadas durante a execução deste trabalho de forma a perceber quais os desafios principais para a OGMA na implementação da FMEA).

Algumas perguntas foram definidas tendo por base a revisão teórica da literatura e o conhecimento adquirido no dia-a-dia durante a realização deste trabalho.

1- Qual o maior desafio na realização da FMEA?

Identificar as pessoas com conhecimento e experiência no processo para formar uma equipa é fácil, a grande dificuldade é garantir o compromisso e dedicação de todos os membros destacados nas reuniões agendadas.

Definir uma estratégia de identificação dos possíveis modos de falha para um processo em geral.

Construir o FMEA por colunas evitando a dispersão da equipa na análise dos modos de falha.

Garantir que os membros da produção não ocultem informação da sua actividade que possa ser determinante e vital á resolução de muitos defeitos.

2- Existe um procedimento base na aplicação e classificação da FMEA?

Algumas empresas aplicam a FMEA de forma estruturada/ padrão e através de normas estabelecidas para avaliação e gestão de risco. Outras não têm um modelo padrão definido ou um guia de orientação próprio.

Por exemplo muitas empresas usam a ISO3100 que define a FMEA como uma das ferramentas para análise de risco. No entanto, não têm definido os procedimentos ou os passos requeridos na sua implementação. Isto leva a que na mesma companhia se use diferentes critérios na estimação dos níveis de risco.

3- Existe viabilidade na definição do ranking de risco ($R=G \times O \times D$)?

Vários autores dizem que o método tradicional não é capaz de relacionar a importância dos índices.

Por exemplo: para uma característica com índice de gravidade 4 e outra com índice 8, esta diferença não significa que a característica com grau 8 de gravidade tenha um efeito 2 vezes mais grave que a primeira.

Fica então em discussão a forma como os índices de risco são priorizados através do RPN tradicional.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Apesar das limitações apontadas nas referências estudadas, a teoria destaca que a aplicação da metodologia FMEA, assim como a monitorização contínua dos planos de acção são fundamentais à tomada de decisões em diferentes momentos do desenvolvimento do processo de fabricação.

É importante realçar o esforço e a motivação da equipa multidisciplinar, de áreas funcionais diferentes na identificação dos potenciais modos de falha e suas causas. Isto permitiu agrupar e validar ideias, dando destaque às causas que realmente interessam estudar e deixar para segundo plano as ideias mais vagas e gerais que precisam de sustentação.

Através da aplicação integrada de várias ferramentas (fluxograma, diagrama em árvore, *Brainstorming*, diagrama de Pareto, plano de controlo) foi possível mapear o processo, identificar os modos de falha e suas causas, priorizar os modos de falha e definir acções de mitigação e controlo dos riscos a estes associados.

A causa mais recorrente em todo o processo é a falta de formação e inexperiência dos operados, por isso a empresa tem apostado fortemente na formação dos operadores.

A definição de acções para redução de risco e planos de controlo demonstra que o FMEA tem potencial de melhoria e se conduzido correctamente torna-se uma fonte de *know-how* a nível do processo e das suas variáveis. Isto é um factor muito importante para a empresa.

A aplicação da teoria de relação *Grey* mostrou ser um modelo flexível que permite aliviar a longa discussão em torno da avaliação rígida do RPN tradicional.

A realização deste trabalho na OGMA S.A. permitiu a familiarização com a metodologia, conhecer e compreender de forma mais detalhada o processo e as actividades a este inerentes.

Proveniente do trabalho aqui realizado, ficam algumas sugestões para futuros trabalhos de pesquisa:

- Implementar FMEA na de análise de risco para a Segurança ocupacional (requisitos legais/ regulamentares para segurança no trabalho), pois a ferramenta é muito flexível.
- Utilizar software para aplicação do FMEA (como por exemplo, XFMEA) para estudar a confiabilidade/ falhas no processo, pois o processo tornava-se menos moroso. A empresa deve fazer uma análise de custo-benefício para perceber o quão vantajoso é adquirir este software.

No futuro utilizar outros factores como custo da operação, tempo para reparação, etc. para além dos parâmetros gravidade, ocorrência e detecção.

BIBLIOGRAFIA

- Automotive International Action Group (AIAG). (1994). Advanced Product Quality Planning and Control Plan, *Reference Manual*.
- Bernd, B. (2008). *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*. Heidelberg: Springer.
- Braaksma, A. j. j., Klingenberg, W., & Veldman, J. (2012). Failure mode and effect analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry. *International Journal of Production Research*, 1-17. doi: 10.1080/00207543.2012.674648
- Carneiro, L. A. V., & Teixeira, A. M. A. J. (2008). Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção.
- Chang, C. L., Liu, P. H., & Wei, C. C. (2001). Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems*, 12(3), 211-216. doi: 10.1108/09576060110391174
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 113-129. doi: 10.1007/s10845-009-0266-x
- Chuang, P. T. (2007). Combining Service Blueprint and FMEA for Service Design. *The Service Industries Journal*, 27(2), 91-104. doi: 10.1080/02642060601122587
- Dyadem Press. (2003). *Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis for Automotive, Aerospace and General Manufacturing Industries*. Canada.
- Ford Motor Company. (2004). *Failure Mode and Effects Analysis: FMEA Handbook*.
- Franco, R. A. V. S. (2008). *Produção de Componentes em Materiais Compósitos por Infusão de Resina* (Mestrado), Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Gargama, H., & Chaturvedi, S. K. (2011). Criticality Assessment Models for Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. *Reliability, IEEE Transactions on*, 60(1), 102-110. doi: 10.1109/TR.2010.2103672
- Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11-12), 3126-3142. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2011.07.042>
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828-838. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Pereira, Z. L., & Requeijo, J. G. (2008). *Planeamento e Controlo Estatístico de Processos: Qualidade*. Caparica: Prêfacio.

Bibliografia

- Sankar, N. R., & Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 324-336. doi: 10.1108/02656710110383737
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9), 986-1004. doi: 10.1108/02656710510625248
- Sharma, R. K., & Sharma, P. (2010). System failure behavior and maintenance decision making using, RCA, FMEA and FM. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(1), 64-88. doi: 10.1108/13552511011030336
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and effects Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Wisconsin, US: ASQC Quality Press.
- Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8), 1047-1066. doi: 10.1108/02656710610688202
- Teng, S. H., & Ho, S. Y. (1996). Failure mode and effects analysis: An integrated approach for product design and process control. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(5), 8-26. doi: 10.1108/02656719610118151
- Vinodh, S., & Santhosh, D. (2012). Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization. *The TQM Journal*, 24(3), 260-274. doi: 10.1108/17542731211226772
- Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster-Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18(8), 2084-2092. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.06.014>

Páginas de Internet Consultadas:

<http://www.ogma.pt/> consultado em Junho de 2013

http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/lucros_da_ogma_caem_13_em_2012.html
consultado em Junho de 2013

http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/QS9000v2.html
consultado em Maio de 2013

http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_quad_2008/propr_caract_compostos_compositos.pdf
consultado em setembro de 2013

ANEXOS

AI. Tabelas de elaboração FMEA para o processo de fabricação de peça em material compósito

<i>Designação do Projecto / Processo de Produção / Equipamento</i>					<i>Conceito de Produção</i>		<i>Equipa</i>						
							Nome	Contacto					
Fabricação de peça em material compósito					X	Processo	Nome do participante	e-mail	PFMEA				
						Equipamento							
							Nome do participante	e-mail	<i>Process Failure Modes & Effects Analysis</i>				
Última Revisão e comentários							Nome do participante	e-mail					
xx/xx/xxxx									Data de Início:	xx/xx/xxxx			
									Eng.º Responsável:				
									Preparado por:				

Tabela AI.1: Fase 1-Entrada em armazém de perfis fabricados

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data / Prazo
1	ENTRADA EM ARMAZÉM DE PERFIS FABRICADOS													
1.1	ARMAZENAR PERFIS	Armazenar conforme NS: -Ambiente controlado -Manter doc. de identificação	Falta de condições ambientais	-Absorção de humidade -Colapso dos perfis de espuma -Contaminação da peça (poeiras)	8	-Incumprimento NS -Operador (falta de treino) -Falta de equipamento para monitorização -Instalações inadequada	8	NS Controlo /monitorização de Humidade e Temperatura	Visual	8	512			
			Erro na documentação (perda ou troca)	-Perda de rastreabilidade	9	-Operador (inexperiência/falta de treino)	10	NS Análise estatística de defeitos reportados no controlo final	Inspeção de OF (Ordem de Fabricação) no controlo final	8	720			

Tabela AI.2: Fase 2-Preparação da ferramenta

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
2	PREPARAÇÃO DA FERRAMENTA													
2.1	LIMPEZA GERAL DA FERRAMENTA	Ferramentas isentas de sujidade/ óleos	Limpeza incorrecta	-Porosidade -Delaminação -Fractura -Arranque de material	7	-Operador (falta de treino) -Incumprimento do procedimento de limpeza	10	NS	Inspeção visual (com pano)	8	560			
2.2	APLICAR FREKOTE (desmoldante)	4 demãos Sentido de aplicação Verificar PVU (prazo de vida útil) desmoldante Temperatura de aplicação (°C)	Falta desmoldante	-Fractura -Arranque material	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento NS	10	NS	Sem controlo	10	700			
			Aplicação incorrecta (1-3 demãos, sentido incorrecto)	-Espessura errada -Arranque de material	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento NS	8	NS	Sem controlo	10	560			
			Desmoldante fora do PVU	-Arranque de material -Contaminação da peça (poeiras)	7	-Falta de controlo do PVU -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento NS	9	NS	Visual	8	504			
			Incumprimento de condições ambientais	-Arranque de material -Contaminação da peça (poeiras)	7	-Operador (falta de treino) -Incumprimento NS -Instalações inadequadas	9	NS	Controlo/ monitorização Humidade e Temperatura	8	504			

Tabela AI.3 (Continuação): Fase 2-Preparação da ferramenta

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
2.3	CURAR (a temperatura ambiente)	Registar condições de aplicação de desmoldante	Cura do desmoldante insuficiente	-Arranque de material -Contaminação da peça	7	-Incumprimento do tempo de secagem -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento NS	2	NS	Sem controlo	10	140			
			Falta preenchimento da documentação	-Perda de rastreabilidade	9	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	NS	Inspecção de OF no controlo final	8	720			
			Não cumprir <i>flash-off</i> (tempo de repouso pós cura)	-Porosidade -Contaminação da peça	6	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Alteração de prioridades produtivas	7	NS	Visual	8	336			

Tabela AI.3: Fase 3-Recorte CNC dos perfis em BEADS

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
3	RECORTE CNC DOS PERFIS EM BEADS: Usar sempre luvas no manuseamento das espumas													
3.1	ESCOLHER FRESA	Conforme FTP (ficha técnica de produção)	Fresa incorrecta	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Alocação incorrecta na máquina	10	NS FTP (Ficha técnica de produção)	Dimensional	6	420			
3.2	ALINHAR MASCARA PARA RECORTE DOS BEADS		Posicionamento incorrecto na mesa	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Não existe referência de posicionamento	10	NS FTP	Dimensional	6	420			
3.3	COLOCAR OS PERFIS DE ESPUMA SOBRE FILEIRAS DA MAQUINA	Usar Luvas Temperatura controlada Humidade controlada	Colocação incorrecta dos perfis	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Inexistência de documentação técnica	10	NS	Dimensional (Máscara)	3	210			
			Não usar Luvas	-Descolagens -Contaminação da peça	7	-Incumprimento NS -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Luvas indisponíveis	10	NS	Visual	5	350			
			Falta de condições ambientais	-Absorção de humidade	8	-Incumprimento NS -Falta de equipamentos para monitorização -Instalações inadequada	8	NS Controlo/ monitorização (Humidade e T °C)	Visual	8	512			

Tabela AI.4 (Continuação): Fase 3-Recorte CNC dos perfis em BEADS

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
3.4	CARREGAR PROGRAMA CN	Conforme FTP (ficha técnica de produção) Registar informação solicitada	Programa errado	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Seleção do programa errado -Falta suporte engenharia -Programa sem revisão	10	NS FTP	Dimensional	6	420			
			Falta preenchimento da documentação	-Perda de rastreabilidade	9	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	NS	Inspeção de OF no controlo final	8	720			
3.5	LIGAR O VÁCUO E INICIAR O PROGRAMA CN		Não ligar vácuo	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Falta de equipamento -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	NS	Controlo dimensional (Beads)	6	420			
			Vácuo insuficiente	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Falha no equipamento -Falta de manutenção preventiva -Operador (inexperiência/ falta de treino)	8	NS	Dimensional	6	336			

Tabela AI.4: Fase 4-Criação de Kits de BEADS

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº · Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
4 CRIAÇÃO DE KITS DE BEADS														
4.1	AGRUPAR BEADS EM KITS A FABRICAR	Ambiente controlado Conforme FTP	FTP incorrecta	-Erro na geometria/dimensão da peça	8	-Falta de actualização	10	NS FTP	Controlo dimensional (template passa-não passa)	5	400			
			Troca de BEADS (interpretação incorrecta da FTP)	-Erro na geometria/dimensão da peça	8	-Operador (inexperiência/falta de treino)	10	NS FTP	Controlo dimensional (template passa-não passa)	5	400			
4.2	ENSACAR KIT EM VÁCUO	Ambiente controlado: Tadesivo (°C)	Troca de adesivo	-DOE (corpo estranho)	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Debito incorrecto/incompleto -Troca do produto durante o processo	10	NS	Inspeção visual Registo na OF (lote, rolo;PVU)	8	560			
			Temperatura (°C) de aplicação do adesivo incorrecta	-Descolagens -Contaminação da peça	8	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento NS -Instalações inadequadas	10	NS	Controlo sonoro	9	720			
			Adesivo fora do PVU	-Descolagens -Contaminação da peça	8	-Falta de controlo do PVU -Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento NS	10	NS Controlo de PVU	Controlo PVU	8	640			

Tabela AI.5 (Continuação): Fase 4-Criação de Kits de BEADS

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
N.º Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
4.3	EMBALAMENTO	Saco de alumínio Controlar Out-time	Embalagem incorrecta	-Colapso dos perfis de espuma	8	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Fornecimento incorrecto do material -Falta material	8	NS	Inspeção visual (na estação seguinte)	8	512			

Tabela AI.5: Fase 5-Corte de Tecidos na máquina (CNC)

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
5 CORTE DE TECIDOS NA MAQUINA (CNC)														
5.1	SELECIONAR TECIDO	PVU conforme	Tecidos fora do PVU	-DOE (corpo estranho)	8	-Falta de controlo do PVU -Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento NS	10	NS	Visual (etiqueta de controlo dos rolos, PVU)	4	320			
5.2	DESCONGELAR TECIDOS	Seguir doc. técnica	Descongelamento incompleto	-Fractura das fibras -Fibras defeituosas -Porosidade -Descolagens	8	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento NS -Falta de equipa dedicada	10	NS	Visual	8	640			
5.3	CORTE DE TECIDO NA MAQUINA	Seguir programa correcto Anexar fichas de controlo PVU	Recorte incorrecto	-Erro na geometria/dimensão da peça	3	-Seleção do programa errado -Falha máquina/ Falta de película de protecção -Falta suporte engenharia	10	NS	Visual Dimensional	8	240			
			Não anexar fichas/documentação	-Perda de rastreabilidade	9	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/falta de treino)	10	NS Relatório de defeitos reportados no controlo final	Controlo na estação Inspeção de OF no controlo final	6	540			

Tabela AI.6: Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
6	LAY-UP e BOLSA DE VÁCUO													
6.1	ALINHAR E TRAVAR FERRAMENTA E SELECIONAR PROGRAMA	Definir programa	Programa errado	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Seleção do programa errado -Falta suporte engenharia -Programa sem revisão -Programa mal executado	10	Livro de trabalho Desenho	Visual Dimensional Ficha de controlo	3	210	Sugere-se que seja realizado por código de barras		
			Ferramenta mal alinhada	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Incumprimento NS -Operador (inexperiência/ falta de treino) -Uso de ferramenta inadequada	10	NS	Visual Dimensional	6	420	Ferramenta deve ser imóvel Desenvolvimento de sistema auxiliar		
			Ferramenta mal travada	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	NS	Visual Dimensional	6	420	Ferramenta deve ser imóvel Desenvolvimento de sistema auxiliar		
6.2	LAY-UP	Sequência Camadas conforme Livro de Trabalho e desenho Projecção Laser	Programa LASER incorrecto	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Seleção do programa errado -Falta suporte engenharia -Programa mal executado	7	NS Livro de trabalho	Visual Dimensional	4	196	Sem acção definida		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
6.2	LAY-UP	Sequência Camadas conforme Livro de Trabalho e desenho Projecção Laser	Camadas mal posicionadas	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Projecção laser incorrecta -Falta de alinhamento -Programa incorrecto	4	NS Livro de trabalho	Visual Dimensional	6	168	Verificar após 200 painéis Formação para operadores		
			Falta camada	-Erro na geometria/dimensão da peça (espessura)	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Programa errado -Faltou corte de camada	10	NS Livro de trabalho	Visual Dimensional	6	420	Sem acção definida		
			Camada em excesso	-Erro na geometria/dimensão da peça (espessura)	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Programa errado	2	NS	Visual Dimensional	8	112	Sem acção definida		
			DOE (corpo estranho)	-Contaminação da peça	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Falta cultura aeronáutica -Falta procedimento de verificação -Falta de limpeza	10	NS	Visual Ultrassom	4	280	Implementar equipamento para detecção primária de DOE		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
6.3	DESCONGELAR RESINA	Controlo PVU da Resina	Resina fora da PVU	-Contaminação da peça	7	-Falta de controlo do PVU -Operador (inexperiência/falta de treino) -Não seguir NS	2	NS Controlo PVU da Resina	Visual	8	112	Implementar software para controlo PVU (datas de validade, condições de descongelamento, aplicação e segregação de resíduos após uso)		
			Descongelamento insuficiente	-Porosidade	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Alteração de prioridades produtivas -Não seguir NS -Falta de equipa dedicada	10	NS	Visual	8	560	Criar instrução de operação (IOP) para verificação PVU, condições de descongelamento, aplicação e segregação de resíduos após uso		
6.4	APLICAR RESINA	Conforme Livro de Trabalho	Excesso de resina	-Rugas	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho	2	NS	Visual	8	112	Criar instrução de trabalho para aplicação correcta da Resina		
			Resina insuficiente	-Erro na geometria/dimensão da peça (camada deslocada)	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho	2	NS	Visual	8	112	Criar instrução de trabalho para aplicação correcta da Resina		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
6.4	APLICAR RESINA	Conforme Livro de Trabalho	Aplicação com equipamento inadequado	-Contaminação da peça (DOE)	7	-Falta de equipamento adequado	10	NS	Visual C-SCAN	4	280	Criar IOP para aplicação correcta da Resina		
			Contaminação da Resina (resíduos)	-Contaminação da peça (DOE)	7	-Utilização de recipientes sujos -Falta de condições ambientais (poeiras)	8	NS	Inspeção visual	8	448	Criar IOP para verificação PVU, condições de descongelamento, aplicação e segregação de resíduos após uso)		
6.5	REALIZAR PRÉ-COMPACTAÇÕES e EXECUTAR SEQUÊNCIA DE LAY-UP	Conforme Livro de Trabalho	Falta de pré-compactação	-Rugas; Espessura -Erro na geometria/dimensão da peça -DOE	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Falta de equipamento adequado -Alteração de prioridades produtivas	8	NS	Visual C-SCAN	6	336	Criar Instrução de trabalho para utilização de cavaletes no posicionamento/ fixação das ferramentas		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
6.5	REALIZAR PRÉ-COMPACTAÇÕES e EXECUTAR SEQUÊNCIA DE LAY-UP	Conforme Livro de Trabalho	Posicionamento incorrecto das plies (camadas de fibra)	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Ferramenta mal posicionada	7	NS Livro de trabalho Desenho	Visual Dimensional	6	294	Criar Instrução de trabalho para utilização de cavaletes no posicionamento/ fixação das ferramentas		
			Erro na documentação	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Erro no desenho (Cliente) -Modificações não implementadas	2	OF Livro de trabalho	C-SCAN	4	56	Sem acção definida		
6.6	POSICIONAR BEADS	Usar mascara de posicionamento	Posicionamento incorrecto dos BEADS	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Erro dimensionais no <i>template</i> -Ausência de <i>template</i>	7	NS Livro de trabalho	Controlo dimensional (<i>template</i>)	5	245	Criar IOP com informação de encosto dos <i>Beads</i> conforme setas de posicionamento/ alinhamento		
			Troca de BEADS	-Erro na geometria/dimensão da peça	7	-Troca de <i>kits</i> -Erro na documentação -Operador (inexperiência/falta de treino) -Alteração de prioridades produtivas	8	Livro de trabalho	Controlo dimensional (<i>template</i>)	6	336	Criar carrinho/caixa de configuração com <i>Beads</i>		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
6.7	COLOCAR TERMOPARES	Controlo posicionamento termopares conforme livro de trabalho	Posicionamento incorrecto de termopares	-Delaminação	7	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Operador (inexperiência/falta de treino)	8	NS Livro de trabalho	Visual	8	448	Incorporar localização dos termopares na projecção laser; Marcação das ferramentas (plano B).		
			Colocar termopares danificados	-Peça sucata	7	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Erro no livro de trabalho -Falta de registo de termopares	10	Livro de trabalho	Visual	4	280	Verificação antes de uso Serialização dos termopares Substituição após 30 ciclos de cura		
			Não colocar termopares	-Peça sucata	7	-Incumprimento NS -Incumprimento livro de trabalho -Falta de termopares	2	Livro de trabalho	Visual	4	56	Garantir termopares suficientes a área de produção		

Tabela AI.7 (Continuação): Fase 6-Lay-up e Bolsa de vácuo

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
6.8	ENSACAMENTO FINAL EM VÁCUO	Utilizar filme desmoldante conforme livro de trabalho	Fuga de vácuo	-Porosidade	7	-Saco de vácuo danificado -Mangueira danificada -Plug-in da ferramenta danificado -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	Livro de trabalho	Inspeção visual Teste de vácuo	5	350	Criar IOP para verificação das tomadas de vácuo, <i>plug-in</i> ferramentas		
			Material incorrecta	-Porosidade	7	-Utilização de saco incorrecto -Troca de referências (dos sacos) -Sacos danificados -Plug-in da ferramenta danificado	4	Livro de trabalho	Visual	8	224	Criar classes de criticidade para materiais de uso não aeronáutico		
			Ensacamento incorrecto	-Porosidade	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Incumprimento livro de trabalho -Queda de vácuo	2	NS Livro de trabalho	Visual C-SCAN	4	56	Sem acção definida		

Tabela AI.7: Fase 7-Polimerização

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
7	POLIMERIZAÇÃO													
7.1	POSICIONAMENTO DOS MOLDES NA AUTOCLAVE	Registrar localização dos moldes Registrar localização dos termopares Usar sempre provetes	Troca de ligação entre os termopares e canais	-Perda de rastreabilidade	9	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Processo 100% dependente do operador	4	NS Relatório de defeitos	Inspeção de OF no controlo final	8	288			
			Não registar posicionamento da carga	-Perda de rastreabilidade	9	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/falta de treino)	4	NS Relatório de defeitos	Inspeção de OF no controlo final	8	288			
			Falta de provetes	-Peça sucutada	9	-Esquecimento	2	OF	Inspeção visual	8	144			
7.2	CORRER O CICLO DE POLIMERIZAÇÃO	Conforme o ciclo de polimerização Temperatura controlada Registrar elementos informativos	Ciclo de polimerização não respeitado (abortado/incorrecto)	-Porosidade -Descolagens -Queimadura -Delaminação -Peça sucutada	8	-Seleção do programa errado -Erro/avaria na autoclave -Falta de manutenção preventiva	2	Plano de Manutenção Preventiva	Inspeção visual	8	128			
			Instabilidade da temperatura	-Peça sucutada	8	-Avaria na autoclave -Não existe botão de paragem de emergência	8	Plano de Manutenção	Inspeção visual	8	512			

Tabela AI.8 (Continuação): Fase 7-Polimerização

Descrição Funcional			Análise de Riscos							Planos de Acções para Redução de Riscos				
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
7.2	CORRER O CICLO DE POLIMERIZAÇÃO	Conforme o ciclo de polimerização Temperatura controlada Registar elementos informativos	Queda de vácuo	-Peça sucata	8	-Avaria na autoclave -Saco danificou-se na autoclave -Fuga na ferramenta -Excesso de temperatura	8	Plano de Manutenção	Inspeção visual	8	512			
			Ciclo excessivo	-Peça sucata	8	-Avaria na autoclave -Falta de manutenção preventiva -Programação incorrecta	10	Plano de Manutenção	Inspeção visual	8	640			
			Ciclo insuficiente	-Peça sucata	8	-Avaria na autoclave -Falta de manutenção preventiva -Programação incorrecta	8	Plano de Manutenção	Inspeção visual	8	512			
			Pressão incorrecta (insuficiente/excessiva)	-Peça sucata	8	-Avaria na autoclave -Falta de manutenção preventiva -Programação incorrecta	7	Plano de Manutenção	Inspeção visual	8	448			

Tabela AI.8: Fase 8-Controlo da posição dos BEADS

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/Prazo
8 CONTROLO DA POSIÇÃO DOS BEADS														
8.1	REMOVER BOLSA DE VÁCUO	Sem espátulas metálicas	Remover com equipamento incorrecto	-Arranque material	7	-Falta de equipamento adequado -Inexistência de livro de trabalho	10	NS	Visual	8	560			
8.2	POSICIONAR AS MÁSCARAS DE CONTROLO	Posicionar BEADS garantindo dimensão mínima de planeza Verificar se o posicionamento esta de acordo com os requisitos Registrar o resultado da inspecção	Posicionamento incorrecto	-Peça sucata	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Erro no <i>template</i>	2	NS Controlo da posição dos Beads	Controlo por ferramenta	5	70			
			Impossibilidade de posicionamento	-Peça retrabalhada	7	-Ausência de <i>template</i>	2		Controlo por ferramenta	5	70			
			Falta preenchimento da documentação	-Perda de rastreabilidade	9	-Inexistência de OF na área -Operador (inexperiência/falta de treino)	10	NS Relatório de defeitos reportados no controlo final	Inspeção de OF no controlo final	8	720			

Tabela AI.9: Fase 9-Desmoldagem

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
9	DESMOLDAGEM													
9.1	DESMOLDAR A PEÇA E REMOVER OS EXCESSOS DE RESINA DA MESMA	Não usar espátulas metálicas	Utilização da espátula metálica	-Fractura -Arranque de material -Dano do molde	7	-Falta de equipamento adequado -Inexistência de livro de trabalho -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	Formação NS	Visual	8	560			
			Desmoldagem incorrecta	-Arranque material -Descolagens -Fractura -Delaminação -DOE	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Uso de ferramenta inadequada -Falta de ferramenta adequada	10	Formação NS	Visual	8	560			
			Ferramenta imprópria para uso	-Arranque material -Descolagens -Fracturas -Delaminação -DOE	7	-Falta de Limpeza	10	Formação NS	Visual	8	560			

Tabela AI.10: Fase 10-Recorte e Furação

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
No. Ref	Passo do processo/Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
10	RECORTE + FURAÇÃO													
10.1	CRIAR FURO DE POSICIONAMENTO	2 furos	Furar 0 ou 1 furo	-Peça retrabalhada	5	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Falta de ferramenta adequada -Ausência de referência na ferramenta p/ furação	2	FTP	Ferramenta Poka-Yoke	1	10			
			Furação em excesso	-Peça sucata	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Falta de ferramenta adequada -Ausência de referência na ferramenta p/ furação	2	FTP	Inspeção visual	1	14			
			Furação deslocada	-Peça sucata	7	-Operador (inexperiência/falta de treino) -Falta de ferramenta adequada -Ausência de referência na ferramenta p/ furação	4	FTP	Inspeção visual	8	224			
10.2	RECORTAR	Alinhar (ferramenta + peça) Verificar 1ª peça	Alinhamento incorrecto	-Dimensional -Peça sucata -Peça retrabalhada	7	-Furo no local errado -Zero mal realizado	2	Formação	Controlo por pinos de referência	7	98			

Tabela AI.11 (Continuação): Fase 10-Recorte e Furação

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
10.2	RECORTAR	Alinhar (ferramenta + peça) Verificar 1ª peça	Ferramenta inadequada	-Delaminação -Arranque de material -Peça sucutada -Peça retrabalhada	7	-Ferramenta não garante a repetibilidade do processo -Ferramenta mal concebida	2	Formação	Inspeção visual	8	112			
			Fresa incorrecta	-Peça sucutada -Peça retrabalhada	7	-Indisponibilidade de fresas -Fresas nos slots errados	7	Formação	Inspeção visual	8	392			
			Recorte incorrecto	-Peça sucutada -Peça retrabalhada	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Seleção do programa errado -Utilização de fresa incorrecta -Troca de turnos dos operadores	10	FTP Formação	Inspeção visual Inspeção dimensional	6	420			
10.3	PROTEGER PEÇA	Proteger com material adequado	Não proteger/ proteger com material incorrecto	-Cantos partidos, Riscos, Mossas (requer retrabalho)	7	-Falta de material de protecção -Operador (inexperiência/ falta de treino)	10	NS	Inspeção visual	8	560			

Tabela AL11: Fase 11-Acabamento/ Eliminação de Rebarbas

Descrição Funcional			Análise de Riscos								Planos de Acções para Redução de Riscos			
Nº. Ref	Passo do processo/ Tarefa	Requisito(s)	Modos de Falha Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Gravidade (G)	Causas Potenciais do Modo de Falha (e/ou mecanismo de falha)	Ocorrência (O)	Controlos Existentes...			N.P.R.	Recomendações da Equipa		
								...de Prevenção [P]	...de Detecção [D]	Detecção (D)		Acções Recomendadas	Resp.	Data/ Prazo
11	ACABAMENTO - ELIMINAÇÃO DE REBARBA													
11.1	ACABAMENTO	Lixar caso exista resina excedente Eliminar irregularidades de superfície	Lixagem excessiva	-Riscos -Remoção de material	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Lixa inadequada -Uso de equipamentos não autorizados (máquinas)	3	Formação	Inspeção visual	8	168			
			Lixagem insuficiente	-Peça retrabalhada	5	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Lixa de grau inadequado	3	Formação	Inspeção visual	8	120			
			Deficiente eliminação de irregularidades	-Sobre-espessura da área	7	-Operador (inexperiência/ falta de treino) -Lixa inadequada Sujidade dos moldes	5	Formação	Inspeção visual Inspeção dimensional	8	280			

AII. Diagramas em árvore

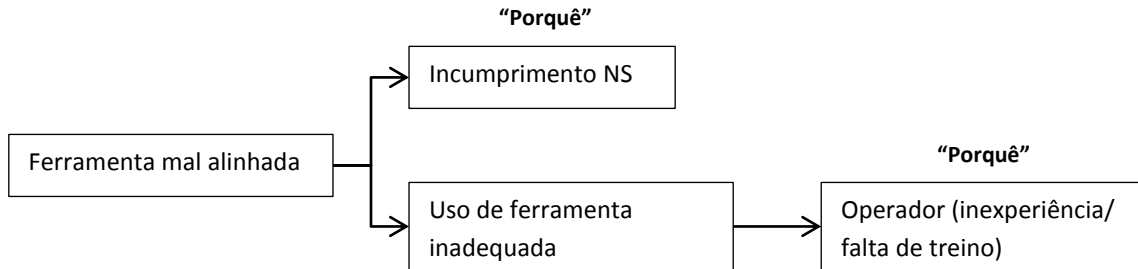


Figura AII.1: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ferramenta mal alinhada”

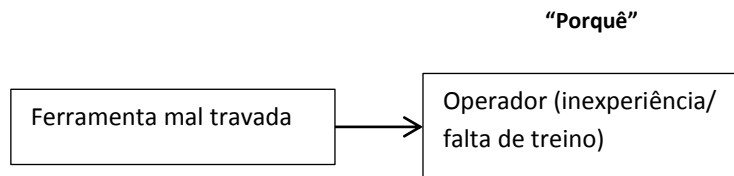


Figura AII.2: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ferramenta mal travada”

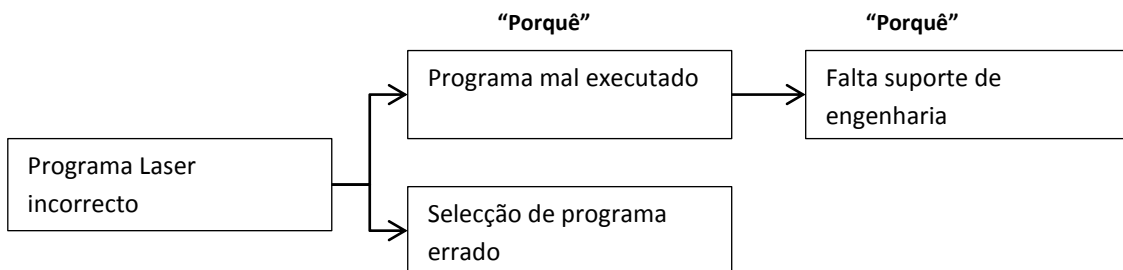


Figura AII.3: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Programa Laser incorrecto”

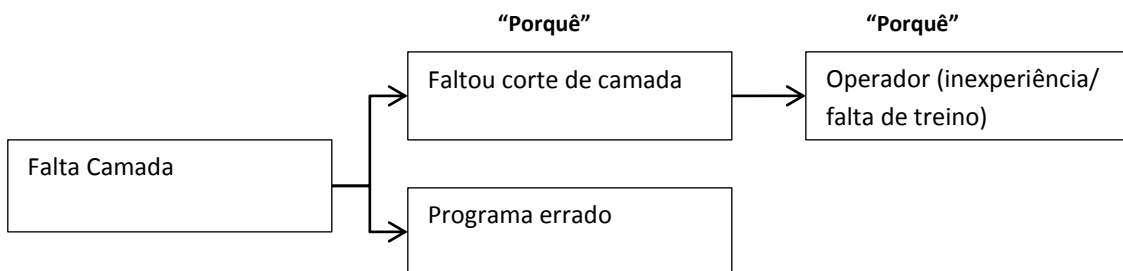


Figura AII.4: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Falta de Camada”

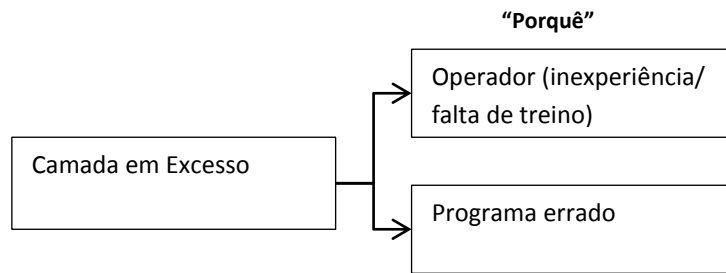


Figura AII.5: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Camada em Excesso”

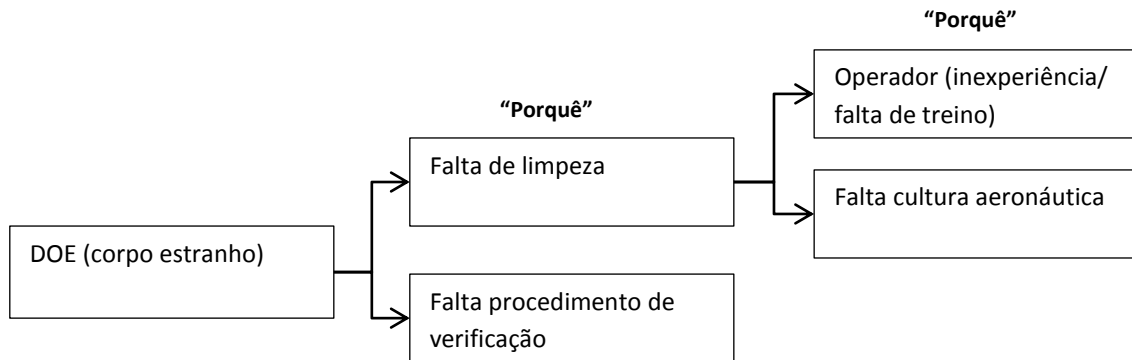


Figura AII.6: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “DOE (corpo estranho)”

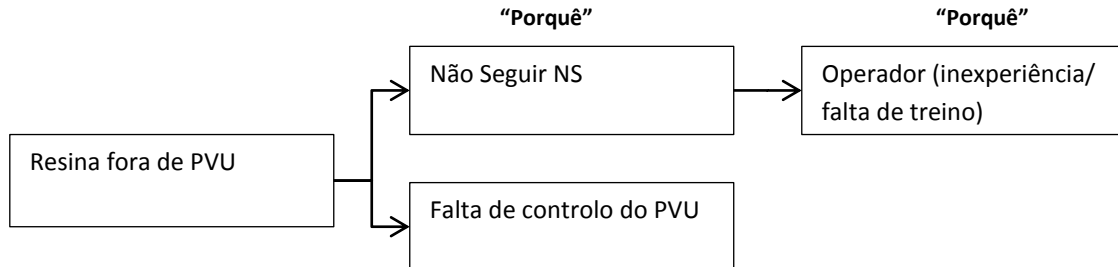


Figura AII.7: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Resina fora do PVU”

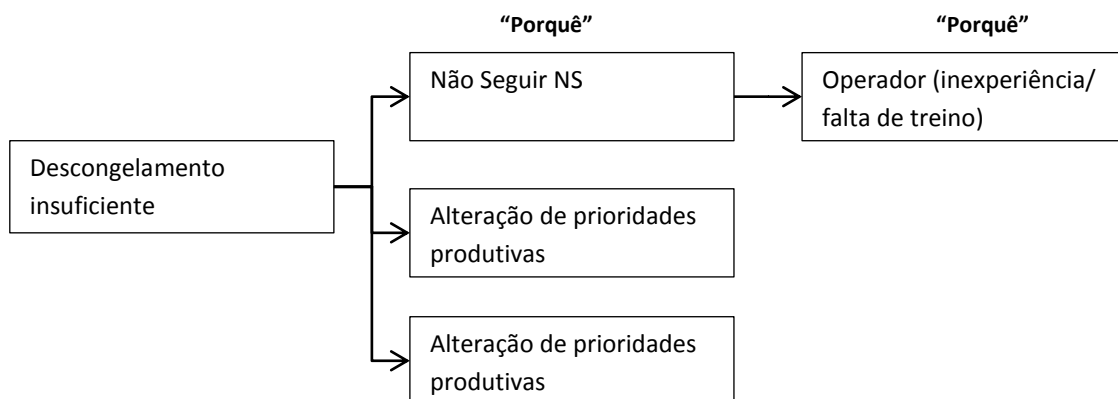


Figura AII.8: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Descongelamento insuficiente”

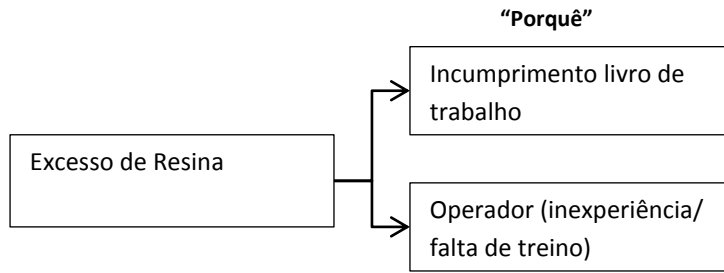


Figura AII.9: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Excesso de resina"

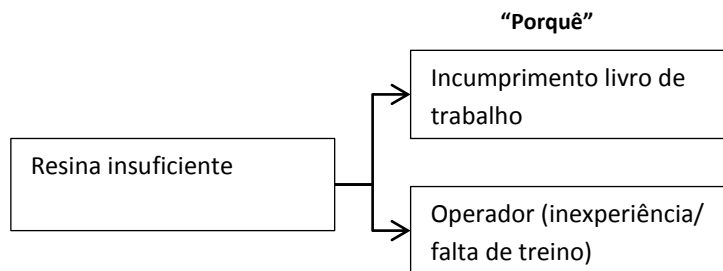


Figura AII.10: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Resina insuficiente"

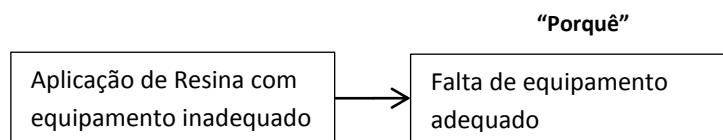


Figura AII.11: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Aplicação de Resina com equipamento inadequado"

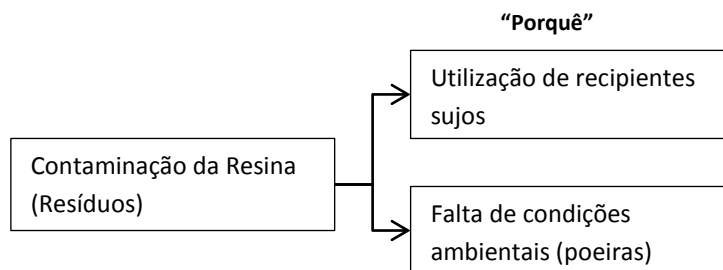


Figura AII.12: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Contaminação da Resina"

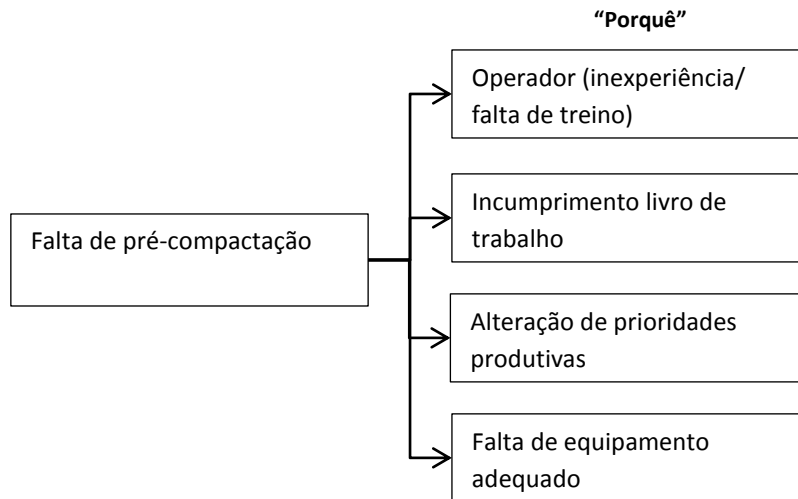


Figura AII.13: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Falta de pré-compactação"

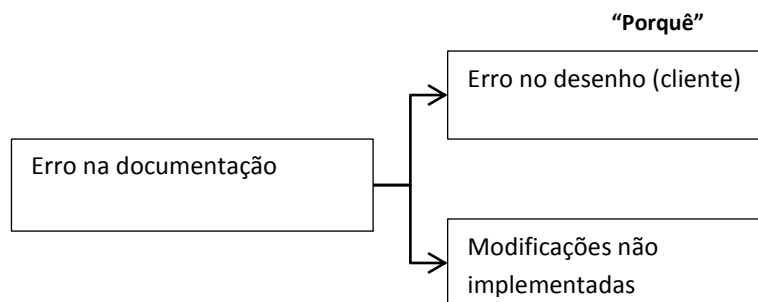


Figura AII.14: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Erro na documentação"

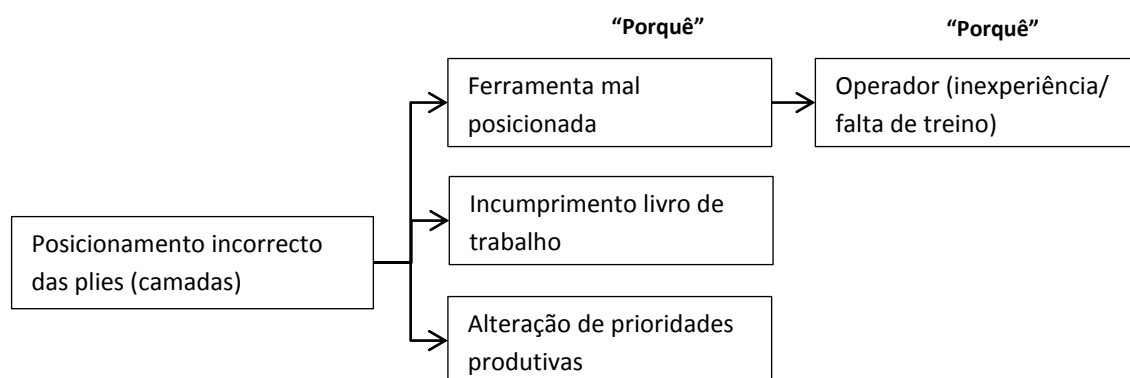


Figura AII.15: : Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Posicionamento incorrecto das plies"

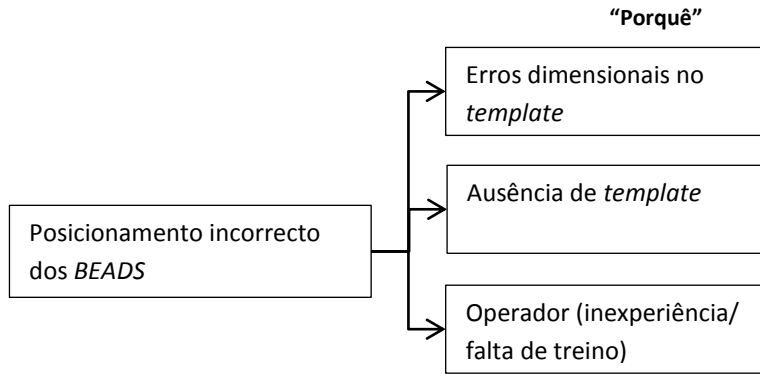


Figura AII.16: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Posicionamento incorrecto dos BEADS"

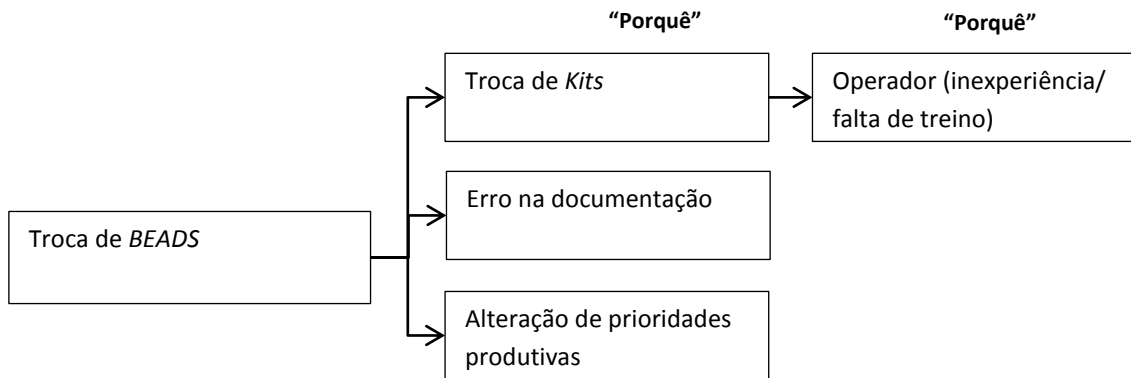


Figura AII.17: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Troca de BEADS"

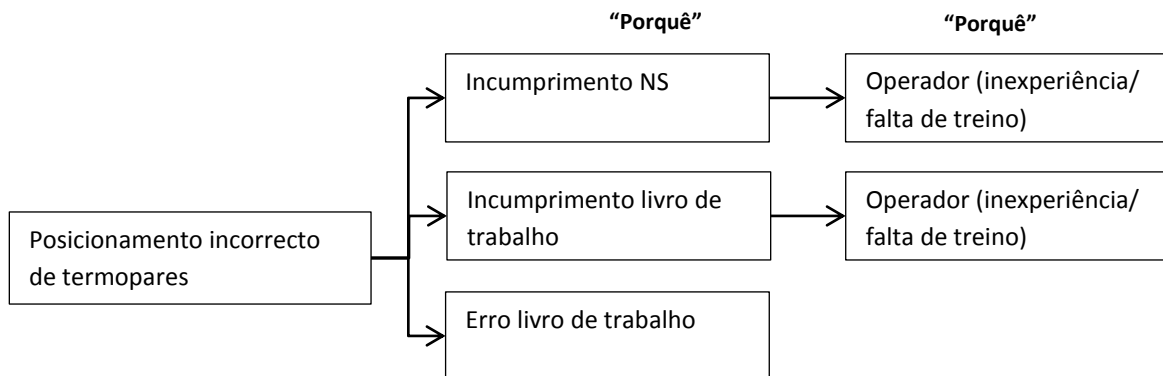


Figura AII.18: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha "Posicionamento incorrecto dos termopares"

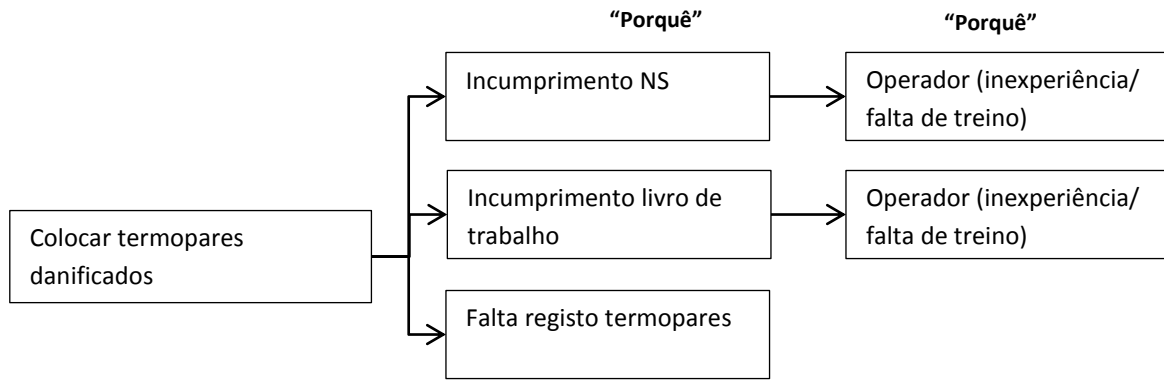


Figura AII.19: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Colocar termopares danificados”

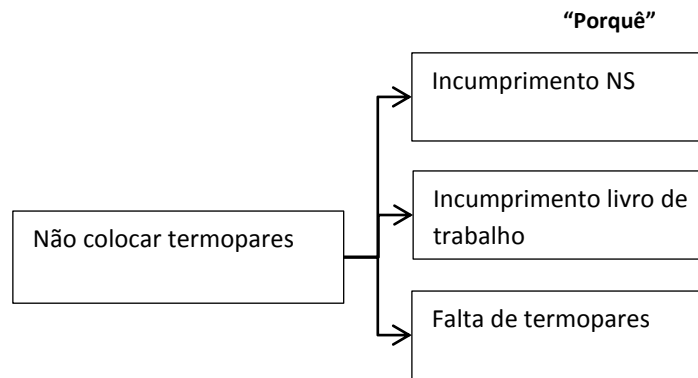


Figura AII.20: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Não colocar termopares”

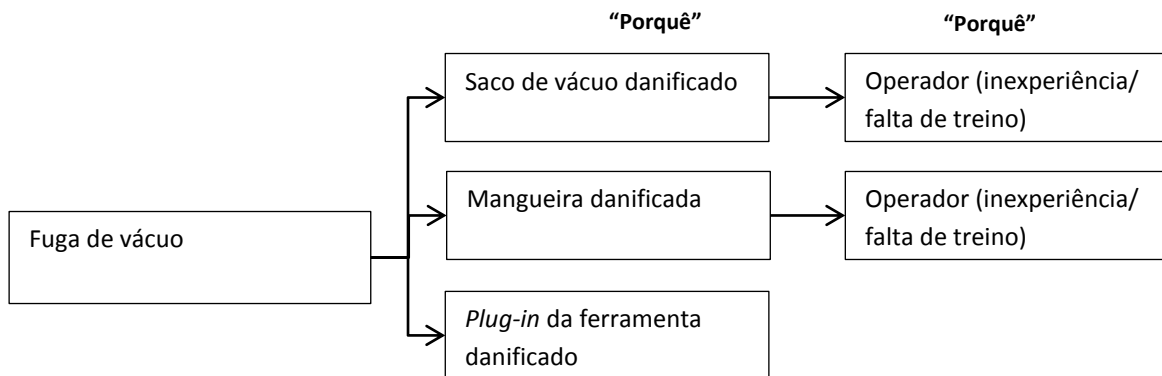


Figura AII.21: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Fuga de Vácuo”

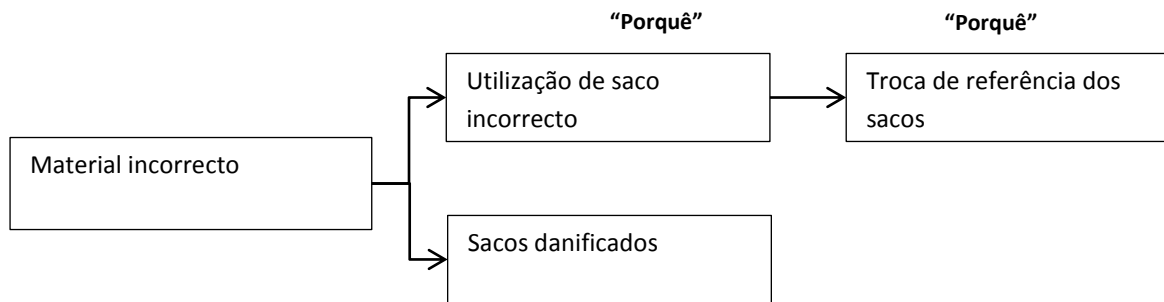


Figura AII.22: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Material incorrecto”

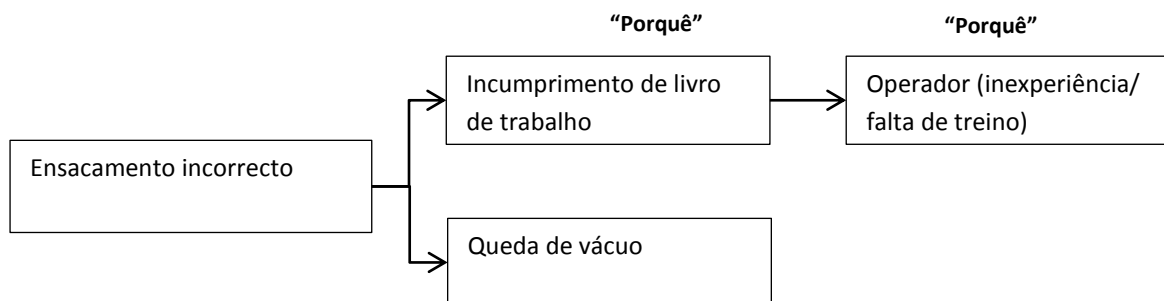


Figura AII.23: Diagrama em Árvore para o desdobramento das causas do modo de falha “Ensacamento incorrecto”