

**FERNANDO DE MOURA SANCHES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE ASPIRAÇÃO EM  
UMA LINHA DE MONTAGEM DE HELICÓPTEROS**

São Paulo

2008



**FERNANDO DE MOURA SANCHES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE ASPIRAÇÃO EM  
UMA LINHA DE MONTAGEM DE HELICÓPTEROS**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo para obtenção do  
Diploma de Engenheiro de Produção

Orientador :  
Professor Doutor Roberto Marx

São Paulo  
2008

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**De Moura Sanches, Fernando**

Estudo de viabilidade de um sistema de aspiração em uma linha de montagem de helicópteros / F. de Moura Sanches – São Paulo, 2008. 155 p

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Produção. 2. Análise de técnico-econômica de investimentos 3. Estudo de processos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Dedico esse trabalho a meus pais, que sempre fizeram tudo para que eu pudesse estudar nas melhores escolas, desde minha alfabetização até hoje, e sempre estiveram ao meu lado.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a meus colegas da Eurocopter España do Departamento de Infra-Estruturas, que me permitiram realizar um estágio muito interessante, em um período de tempo relativamente curto. Agradeço especialmente a Rafael Tomas e Clarisa Doval pela oportunidade dada, a David Rosell, e principalmente a Juan Pablo Molina, por seu acolhimento e suas orientações.

Faço um agradecimento especial a Christian Gras, Damien Blanc e Bruno Gallard, pela confiança e apoio.

Gostaria de agradecer igualmente a meus dois orientadores, M. Michel Fender (ENPC-França) e o professor Roberto Marx. Seus conselhos foram essenciais para que eu pudesse obter uma compreensão global do problema, seus desdobramentos e também para estruturar a análise e utilizar métodos e ferramentas pertinentes.

Finalmente, eu agradeço à equipe da linha de montagem das caudas do modelo EC-135, pela participação, disponibilidade e paciência.





“O ideal é ainda a alma de todas as realizações.”

*(Getúlio Vargas).*



## **RESUMO**

O objetivo desse relatório é apresentar um Trabalho de Formatura, realizado na Empresa Eurocopter España, no Departamento de Infra-Estruturas.

Trata-se, de fato, de um estudo da implementação de um sistema para a aspiração do pó gerado pelas operações de uma linha de montagem de caudas de helicópteros.

Esse sistema é importante para melhorar a qualidade do local de trabalho, de modo a contribuir no processo de implementação atual da nova planta da empresa em Albacete.

Esse trabalho descreve, portanto, o contexto e o problema existente, bem como os métodos e ferramentas empregados de forma a propor soluções a curto prazo, e finalmente para a obtenção de uma solução definitiva.

Palavras-chave: Aspiração industrial, desbaste, furação, FMEA, avaliações técnico-econômicas de investimentos, ergonomia.



## **ABSTRACT**

The aim of this report is to present my final project developed at Eurocopter Spain, at the Infrastructures Department.

This project concerns the study of the implementation of a vacuum cleaning system in order to suck up dust generated from manufacturing processes in a helicopter tail-boom assembly line.

This issue is important in order to improve the workshop quality, contributing on Albacete's manufacturing plant global implementation.

This document describes the procedures, the methodology and the analysis used to assess the situation, to propose short term improvements and finally to find an ultimate solution.

**Keywords:** industrial vacuum cleaning, grinding, drilling, FMEA, investments technico-economical assessments, ergonomics.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da receita da Eurocopter .....	27
Figura 2 – Pedidos da Eurocopter por produto.....	28
Figura 3 – Linhas de produto da Eurocopter .....	28
Figura 4 – Fábricas da Eurocopter na Europa e respectivos produtos e componentes.....	29
Figura 5 – Rede mundial de filiais e subsidiárias da Eurocopter .....	30
Figura 6 – Layout atual da fábrica de Albacete.....	31
Figura 7 – Visão geral da fábrica .....	32
Figura 8 - Esquema geral de abordagem .....	41
Figura 9 – Esquema interpretativo da tarefa à atividade .....	43
Figura 10 – Relação entre elementos do FMEA .....	48
Figura 11 – Desdobramento da análise FMEA .....	51
Figura 12 –Exemplo de diagrama de blocos .....	53
Figura 13 – Itens de um fluxograma.....	54
Figura 14 – Diagrama de montagem de uma cauda do EC-135.....	61
Figura 15 - Módulo de transporte das “half shells” .....	62
Figura 16 – Módulo de transporte da cauda .....	62
Figura 17 – Ponte rolante do Hangar.....	62
Figura 18 – Linha de montagem das caudas de EC-135 .....	63
Figura 19 – Mapofluxograma linha de montagem .....	64
Figura 20 – Desbaste no posto 2.....	66
Figura 21 – Perímetro aspirado e matéria retirada no posto 2.....	66
Figura 22 – Furação no posto 3. ....	67
Figura 23 – Perímetro aspirado e matéria retirada no posto 3.....	67
Figura 24 – Especificações do equipamento utilizado atualmente.....	68
Figura 25 – Aspirador em uso na linha.....	68
Figura 26 – Discos de corte e lixadeiras dos postos 2 e 6 .....	69
Figura 27 – Furadeiras no posto 3 .....	69
Figura 28 – Diagrama do processo .....	76
Figura 29 – Diagrama de blocos do aspirador.....	79
Figura 30 – Esquema sem escala da configuração do posto 2.....	84
Figura 31 – Esquema da configuração do posto 2 e do fluxo de peças .....	84
Figura 32 – Filtro e mangueira do equipamento atual.....	86
Figura 33 – Aspirador Barin 2800A e sua curva característica.....	88
Figura 34 – Câmara de aspiração .....	92
Figura 35 – Espaço ocupado por uma câmara de aspiração no posto 2 .....	93
Figura 36 – Captadores de partículas na fonte geradora .....	95
Figura 37 – Esquema ergonômico de algumas ferramentas utilizadas na linha.....	95
Figura 38 – Esquema de uma instalação de aspiração centralizada .....	96
Figura 39 – Representação visual das notas das alternativas .....	104
Figura 40 – Exemplo de curva característica.....	107
Figura 41 – Localização da unidade centralizada entre os postos 2 e 3 .....	111
Figura 42 – Braço articulado em uso.....	112
Figura 43 – Raio de ação dos braços articulados no posto 2.....	112
Figura 44 – Localização dos pontos de aspiração e esquema de uma válvula do posto 3 .....	113
Figura 45 – Tubulação necessária para instalar um ponto de aspiração no posto 6.....	114

Figura 46 – Correspondência entre captosres e ferramentas da linha de montagem.....	115
Figura 47 – Esquema do hangar com o sistema de aspiração centralizada.....	116
Figura 48 – Pareto dos custos dos elementos constituintes (sem unidade centralizada) .....	122
Figura 49 – Repartição dos custos do sistema segundo o modelo de unidade centralizada ..	122
Figura 50 – Procedimento de limpeza dos filtros .....	124
Figura 51 – <i>Payback</i> em função do número de horas reduzidas no posto 3 .....	127
Figura 52 – Gráfico de Gantt da implementação das soluções de curto e longo prazo .....	132
Figura 53 – Organograma Eurocopter .....	145
Figura 54 – Ficha de Homologação de captor em Marignane .....	147



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de funções .....	49
Tabela 2 – Exemplo de escala utilizada para avaliar severidade no FMEA.....	50
Tabela 3 – Exemplo de Análise Funcional .....	53
Tabela 4 – Escala do Índice de Gravidade .....	73
Tabela 5 – Escala do Índice de Frequência .....	73
Tabela 6 – Escala do Índice de Detecção .....	73
Tabela 7- Funções e especificações das etapas do processo .....	77
Tabela 8- FMEA do Processo de aspiração.....	78
Tabela 9 – Funções e especificações do aspirador .....	80
Tabela 10 – Tabela de análise funcional dos subsistemas do aspirador.....	80
Tabela 11 – FMEA do aspirador utilizado no processo de aspiração .....	81
Tabela 12 – Planos de ação.....	89
Tabela 13 – Resumo de propostas de melhoria .....	90
Tabela 14 – Sistema de pontuação para cada critério de avaliação.....	100
Tabela 15 – Notas das alternativas .....	104
Tabela 16 – Tipos de aspiração .....	108
Tabela 17 – Estimativa de probabilidades de uso da aspiração nos postos de trabalho.....	117
Tabela 18 – Combinações das probabilidades de utilização simultânea na linha de montagem. 118	
Tabela 19 – Estimativa de utilização de pontos de aspiração de forma simultânea na linha. 118	
Tabela 20 – Especificações dos equipamentos centralizados Nederman E-PAK .....	120
Tabela 21 – Detalhamento dos custos dos elementos auxiliares do sistema.....	121
Tabela 22 – Custos do sistema segundo a unidade centralizada .....	122
Tabela 23 – Payback para uma diminuição de uma hora de trabalho no posto 3, de acordo com a unidade centralizada escolhida .....	127
Tabela 24 – Comparativo de aspiradores portáteis.....	143



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **FAL** : Linha de Montagem Final (*Final Assembly Line*).
- **FMEA**: Análise de Modos de Falha e Efeitos (*Failure mode and effects analysis*).
- **HEPA**: Filtro de partículas de alta eficiência (*High-Efficiency Particulate Air*).
- **IF-MA** : Instrução de Fabricação de Marignane.
- **IPR** : Índice de prioridade de risco.
- **JIG** : Equipamento utilizado na linha de montagem das caudas dos helicópteros.
- **WACC**: Custo médio ponderado do capital (*Weighted Average Cost of Capital*).
- **WIP** : Peças em curso de preparação (*Work-in-progress*).



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	25
<b>2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DO CONTEXTO</b>	27
2.1. Histórico e principais indicadores	27
2.2. Produtos	28
2.3. Organização e fábricas	29
2.4. Eurocopter España	30
2.5. A fábrica de Albacete	31
2.6. Contexto do estágio	33
2.7. Objeto de estudo e visão inicial do problema	34
2.7.1. Delimitação de estudo e ferramentas de análise	36
2.8. Resumo do capítulo	37
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	39
3.1. Ergonomia	39
3.1.1. Definições e objetivos	39
3.1.2. Ergonomia física	40
3.1.3. A abordagem da situação de trabalho	41
3.1.4. A observação	42
3.1.4.1. Tarefa e atividade	42
3.1.4.2. Regulação	44
3.1.4.3. As ambiências físicas no posto de trabalho	44
3.1.5. O relacionamento com os operadores e participação	45
3.1.6. Aplicação	45
3.2. FMEA	46
3.2.1. Definições e objetivos	46
3.2.2. Desdobramento da análise FMEA	48
3.2.3. FMEA de Equipamento	52
3.2.4. FMEA de Processo	54
3.3. Engenharia econômica	55
3.3.1. Definições e objetivos	55
3.3.2. Valor Presente Líquido	56
3.3.3. Equivalente Uniforme	57
3.3.4. Taxa Interna de Retorno	57
3.3.5. Prazo de retorno - Payback	58
3.4. Resumo do capítulo	58
<b>4. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO E MELHORIAS INCREMENTAIS</b>	60
4.1. Situação atual	61
4.1.1. Observação e análise no chão de fábrica e coleta de dados	65
4.1.1.1. Postos de trabalho onde ocorre aspiração	66
4.1.1.2. Equipamentos de aspiração utilizados atualmente	68
4.1.1.3. Ferramentas de trabalho utilizadas	69
4.1.2. Diagnóstico preliminar	70
4.1.3. Os problemas encontrados	71
4.2. Melhorias incrementais	72
4.2.1. A aplicação do FMEA	72

4.2.1.1.	A escala de avaliação .....	72
4.2.1.2.	Pessoal envolvido.....	74
4.2.1.3.	O FMEA de processo .....	76
4.2.1.4.	O FMEA de equipamento .....	79
4.2.2.	As melhorias com o equipamento atual .....	83
4.2.3.	Possibilidade de adoção provisória de um equipamento industrial .....	87
4.3.	Resumo do capítulo.....	90
<b>5.</b>	<b>GERAÇÃO, ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>91</b>
5.1.	Geração de alternativas .....	91
5.1.1.	Câmara de aspiração .....	92
5.1.2.	Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte .....	94
5.1.2.1.	Captadores na fonte geradora .....	95
5.1.3.	Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte .....	96
5.2.	Os critérios de avaliação .....	97
5.3.	Avaliação das alternativas.....	100
5.3.1.	Custo de implementação .....	100
5.3.2.	Flexibilidade.....	101
5.3.3.	Facilidade de implementação.....	101
5.3.4.	Ganhos Tangíveis.....	102
5.3.5.	Ganhos Intangíveis.....	102
5.3.6.	Eficiência na operação .....	103
5.4.	Notas atribuídas e alternativa escolhida.....	103
5.5.	Considerações sobre a decisão .....	105
5.6.	Resumo do capítulo.....	106
<b>6.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....</b>	<b>107</b>
6.1.	As necessidades técnicas.....	107
6.1.1.	Depressão e vazão .....	107
6.1.2.	A filtração .....	109
6.2.	O fornecedor dos equipamentos.....	110
6.3.	A localização da unidade centralizada .....	111
6.4.	Os pontos de aspiração.....	112
6.4.1.	Posto 2 - EC-135 - Shells Equipment .....	112
6.4.2.	Posto 3 - EC-135 – Assembly over platform .....	113
6.4.3.	Posto 6 - EC-135 – Final Equipment .....	114
6.4.4.	Os captadores na fonte geradora.....	115
6.5.	A unidade centralizada.....	116
6.5.1.	A vazão necessária .....	116
6.5.2.	As máquinas .....	120
6.5.3.	A válvula de segurança .....	121
6.6.	Os custos de aquisição .....	121
6.7.	Os ganhos potenciais.....	123
6.7.1.	Os ganhos tangíveis .....	124
6.7.1.1.	A manutenção .....	124
6.7.1.2.	A produtividade.....	125
6.7.1.3.	O payback .....	126
6.7.2.	Os ganhos intangíveis .....	128
6.8.	Resumo do capítulo.....	129
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>130</b>

7.1.	Próximos passos .....	131
7.1.1.	Planejamento da implementação .....	131
7.1.2.	Outras iniciativas .....	133
7.2.	Balanco do trabalho realizado .....	133
7.3.	Lições aprendidas do método de trabalho .....	135
7.4.	Dificuldades encontradas e auto-crítica.....	135
7.5.	Balanco pessoal .....	137
7.6.	Resumo do capítulo .....	138
<b>LISTA DE REFERÊNCIAS .....</b>		<b>139</b>
<b>APÊNDICE A –Questionário de orientação de coleta de dados .....</b>		<b>141</b>
<b>APÊNDICE B – Comparativo de aspiradores portáteis.....</b>		<b>143</b>
<b>ANEXO A – Organograma da Eurocopter .....</b>		<b>145</b>
<b>ANEXO B – Ficha de Homologação de captor em Marignane .....</b>		<b>147</b>
<b>ANEXO C – Especificações de Equipamento Nederman E-PAK.....</b>		<b>149</b>
<b>ANEXO D – Orçamento de Sistema de Aspiração Centralizada.....</b>		<b>151</b>





## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo desse Trabalho de Formatura, realizado na Eurocopter España, empresa aeronáutica localizada em Albacete na Espanha, é realizar uma análise técnico-econômica de um investimento destinado a melhorar um processo produtivo. Trata-se de um sistema concebido para aspirar o pó gerado nas operações realizadas na linha de montagem das caudas do modelo de helicóptero EC-135.

As instalações de Albacete encontram-se ainda em fase de implementação, o que implica uma organização em transição para uma situação mais estável, com pouca disponibilidade de dados e informações e baixo grau de formalismo de procedimentos e de operações. Dessa maneira, buscou-se realizar um trabalho de coleta de dados que visava obter mais informações de forma a melhor definir o problema, bem como a metodologia de ação para resolvê-lo. Tal iniciativa e as dificuldades encontradas para a obtenção de dados ficarão mais claras no decorrer no trabalho.

Tendo em vista os objetivos do trabalho e o contexto da empresa, constata-se que a análise do problema e a busca por soluções devem levar em conta os diversos aspectos ligados à produção, ou seja, questões de Engenharia de Produção que permitirão a concepção de um sistema que atenda às necessidades do processo no que diz respeito ao desempenho técnico, bem como uma utilização facilitada para os operadores, sempre respeitando as restrições da empresa, de caráter operacional (espaço disponível, outros processos produtivos, etc.) e de caráter financeiro.

As ferramentas e métodos para definir e analisar o problema foram adaptadas ao contexto, sendo empregadas em dois tempos. Primeiramente, para a proposição de melhorias de curto prazo, através de uma avaliação do processo e dos insumos com a ferramenta FMEA. Em seguida, uma geração e uma avaliação de alternativas permitiram a obtenção de um sistema mais adequado, que será implementado em médio prazo.

Dessa forma, a fim de contextualizar o problema e o cenário, e dado que a empresa não se localiza no Brasil, uma breve apresentação desta foi feita, mostrando igualmente qual era o contexto do estágio e como o problema foi apresentado e tratado inicialmente.

No capítulo seguinte, uma foi feita revisão bibliográfica dos métodos e conceitos abordados e utilizados na definição e resolução do problema, bem como no detalhamento da solução.

No quarto capítulo, efetuou-se a análise da situação atual, através da observação da linha de montagem, orientada por um questionário de dados qualitativos e quantitativos, de forma a observar aspectos que influenciam o funcionamento da linha de montagem, com a obtenção de dados da produção, estimativas de tempos de trabalho, gestão dos fluxos e aspectos ergonômicos. Tais dados permitiram a realização de um perfil do processo em cada posto de trabalho, bem como um diagnóstico inicial do problema. Em seguida, uma análise sistemática do equipamento utilizado e do processo foi feita através do método FMEA, que permitiu mapear os problemas e propor soluções de curto prazo, denominadas melhorias incrementais.

No quinto capítulo, uma avaliação de alternativas geradas a partir das necessidades detectadas com o método FMEA no capítulo anterior foi feita, com a utilização de critérios que visaram avaliar todos os aspectos que influenciam o funcionamento da linha de montagem.

Com a obtenção da solução mais adequada, um dimensionamento desta foi realizado, sendo o tema do sexto capítulo. Esse dimensionamento foi feito por critérios técnicos, através da definição das capacidades e da configuração do sistema, e por critérios econômicos, através de um detalhamento e análise dos custos, bem como uma descrição e análise dos ganhos potenciais do sistema. Finalmente, um planejamento da implementação do sistema foi proposta, de modo a posicionar as tarefas a serem realizadas no tempo, bem como visualizar as relações de precedência e concomitância entre elas.

Nas conclusões finais, os procedimentos a serem realizados futuramente são mais aprofundados, e a realização do trabalho como um todo é discutida e criticada.

Cada capítulo contém uma pequena introdução com os temas tratados, bem como um resumo com o que foi desenvolvido.

## 2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DO CONTEXTO

Este capítulo visa apresentar brevemente a empresa Eurocopter, mostrando seu histórico, sua posição no mercado, bem como sua organização funcional e operacional. Uma apresentação dos produtos e uma descrição dos concorrentes também são feitas. Finalmente, a fábrica de Albacete é descrita de forma mais detalhada, e o contexto do estágio e uma apresentação inicial do problema também são apresentadas.

### 2.1. Histórico e principais indicadores

Líder mundial há dez anos, a Eurocopter é uma empresa inicialmente franco-alemã, criada graças à fusão das divisões de helicóptero da francesa *Aérospatiale MATRA* e da alemã *Daimler-Chrysler Aerospace AG* (DASA) em 1992. Atualmente, 100% do seu capital é do grupo EADS (*European Aeronautic Defense and Space Company*), criado na fusão da *Aérospatiale MATRA SA* (França), *Daimler Chrysler Aerospace AG* (Alemanha) e *Construcciones Aeronáuticas SA* (Espanha), em Julho de 2000 e proprietário de empresas como a *Astrium* e *Airbus*.

Os produtos da empresa estão segmentados em dois mercados principais, o civil e o militar, e as vendas são classificadas em domésticas e de exportação.

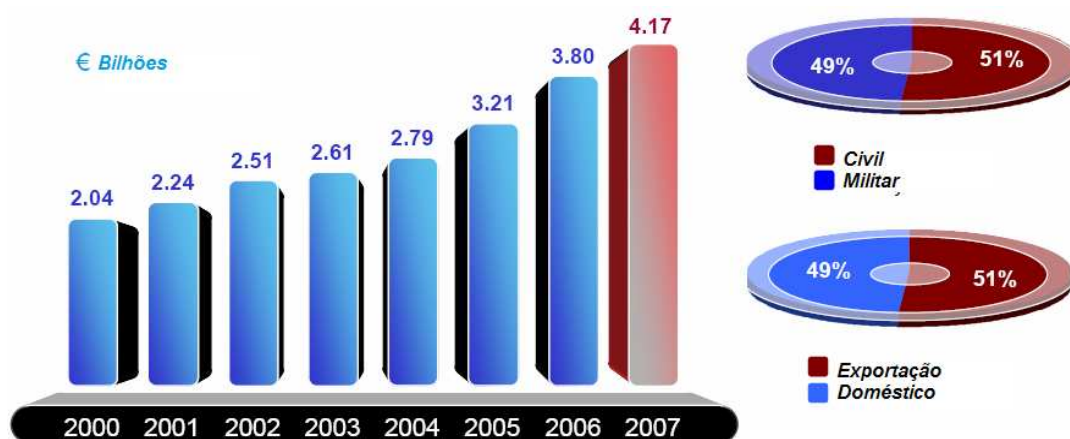


Figura 1 – Evolução da receita da Eurocopter – Fonte: Eurocopter

Na indústria aeronáutica, a carteira de pedidos é um indicador muito importante, pois os esforços produtivos e comerciais das empresas visam sempre ao longo prazo, tendo em vista a complexidade e o lead time da produção, bem como os valores dos contratos de vendas, muito significativos.



Figura 2 – Pedidos da Eurocopter por produto – Fonte: Eurocopter

## 2.2. Produtos

Os produtos da Eurocopter são divididos em duas grandes linhas, a civil e a militar. Diversos modelos são derivados de plataformas comuns, estando presentes nos dois mercados, de forma a permitir uma amortização mais rápida dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Além disso, parcerias na Europa e em outros continentes são cada vez mais frequentes, permitindo reduzir e repartir custos, bem como constituir um mercado maior e mais sólido.



Figura 3 – Linhas de produto da Eurocopter – Fonte: Eurocopter

### 2.3. Organização e fábricas

Atualmente, a Eurocopter está organizada de forma matricial clássica, ou seja, por país/região e por atividade. O organograma geral está no Anexo A.

As principais fábricas estão localizadas na Europa, nos três países fundadores do grupo EADS (Alemanha, França e Espanha).



**Figura 4 – Fábricas da Eurocopter na Europa e respectivos produtos e componentes – Fonte: Eurocopter**

A produção da Eurocopter não é externalizada e reagrupada, nem sequer em nível europeu, o que seria considerado lógico em um esforço de otimização da cadeia de suprimentos. Tem-se, portanto, uma replicação de diversas linhas de montagem em fábricas distintas.

Alguns pontos importantes ajudam a explicar esse fenômeno:

- Alguns modelos fabricados são originados das empresas fundadoras, sendo anteriores à criação da Eurocopter (ex. EC-135 alemão e AS350 francês). A Espanha não possuía modelos pré-existentes.

- Em um contexto tecnológico e estratégico como a indústria aeronáutica, há um esforço de proteção da tecnologia e *know-how* em cada país.
- Aspectos militares, sobretudo na montagem do modelo Tigre, onde cada país realiza a montagem final de seus respectivos aparelhos, adicionando equipamentos específicos.

Todavia, os custos elevados associados ao desenvolvimento e à produção de helicópteros, bem como a busca de novos mercados, estimulam a expansão da empresa internacionalmente, com uma rede de comercialização e de subsidiárias, incluindo no Brasil, com a Helibrás em Itajubá, MG.



**Figura 5 – Rede mundial de filiais e subsidiárias da Eurocopter – Fonte: Eurocopter**

## 2.4. Eurocopter España

A ramificação Eurocopter España foi criada em 2003, com o status de terceiro pilar da Eurocopter. A primeira fábrica no país se localiza em *Cuatro Vientos*, na periferia de Madrid, em uma antiga instalação de manutenção de aeronaves.

Com a expansão do mercado espanhol, bem como uma política de exportações mais agressiva, a empresa decidiu construir uma nova instalação, de modo a melhor atender às necessidades atuais e futuras. A nova fábrica está localizada em Albacete, na região de *Castilla-la-Mancha*, a 250 km de Madrid.



Assim, uma parte das atividades de *Cuatro Vientos* está sendo transferida progressivamente para Albacete, seguindo a implementação e posta em operação desta.

## 2.5. A fábrica de Albacete

A fábrica de Albacete, local de realização do trabalho, iniciou suas atividades em Dezembro de 2006, sendo oficialmente inaugurada em Março de 2007.

Atualmente, o quadro de funcionários é de 350 pessoas, mas uma ampliação para 700 funcionários até 2010 é prevista, mostrando a expansão acelerada das instalações.

A implementação das instalações está dividida em três fases, com uma área construída prevista de 33 000 m<sup>2</sup>, prevista ao término da fase III em 2011.

Atualmente, a fase I acaba de terminar e a fase II está em curso, com o layout mostrado a seguir:

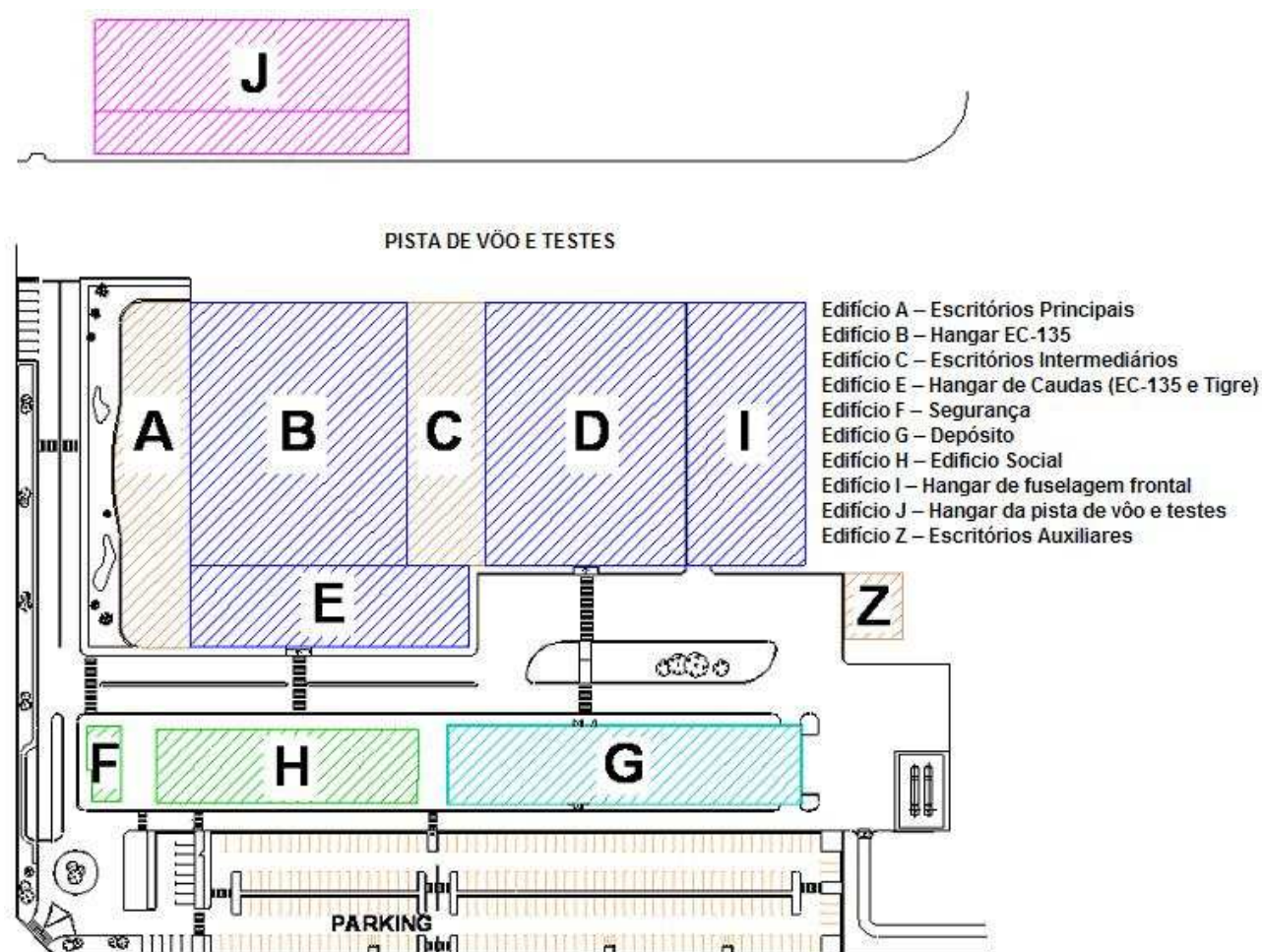


Figura 6 – Layout atual da fábrica de Albacete – Fonte: Eurocopter

As duas atividades principais da fábrica são a FAL (linha de montagem final) do modelo EC-135 e dos Tigres espanhóis, e a montagem das caudas do EC-135 (para Albacete e Donauwörth) e das caudas do Tigre (para Albacete, Donauwörth e Marignane). Atividades de manutenção e conserto de produtos da Eurocopter e de outras marcas também fazem parte das atividades realizadas em Albacete.

As instalações de Albacete incorporam as últimas tecnologias e conceitos da indústria aeronáutica, especialmente:

- Climatização inverno/verão, com controle digital;
- Instalações de manutenção facilitada (galerias de tubulação visitáveis) e preparadas para expansão;
- Instalações de captação de energia solar;
- Sistema de segurança digital;
- Linha de montagem de alta segurança (Tigre).



**Figura 7 – Visão geral da fábrica – Fonte: Eurocopter**

Atualmente, o processo de implementação da fábrica e a necessidade de iniciar algumas linhas de montagem de forma a cumprir contratos pré-estabelecidos constituem um obstáculo à organização mais adequada da fábrica. De fato, algumas linhas foram provisoriamente instaladas em locais onde sua configuração não condiz ainda com o que foi concebido no projeto.

Como consequência, no contexto atual de implementação, constata-se a configuração de arranjos provisórios para acomodar as linhas. Como cada setor é concebido para um arranjo previamente determinado, notam-se problemas associados à má distribuição dos postos de trabalho (ex. tomadas de corrente e de ar comprimido longe dos postos), bem como cruzamentos de fluxos constantes. Problemas associados à alocação de novos funcionários também são presentes.

Contudo, trata-se de uma situação provisória, que deverá ser resolvida no fim da fase III da implementação da fábrica de Albacete.



## 2.6. Contexto do estágio

O estágio para a realização do TF foi feito no Departamento de Infra-Estruturas da fábrica de Albacete. Trata-se do departamento responsável pela coordenação da implementação da fábrica<sup>1</sup>, bem como pela realização de estudos técnico-econômicos de novos investimentos industriais. Além disso, aspectos ambientais, tais como a certificação ambiental de novos investimentos da instalação como um todo, e a gestão e tratamento de detritos e resíduos industriais são atividades realizadas pelo departamento. Finalmente, o departamento também é responsável pela manutenção geral e de diversos equipamentos industriais. Tais atividades se enquadram, portanto, dentro do escopo da Engenharia de Produção e da Engenharia Civil.

Nesse contexto, o aluno foi responsável pela realização de diversos estudos e busca de informações adequadas, bem como pela estruturação, consolidação e apresentação desses trabalhos à diretoria de Infra-Estruturas.

Os estudos realizados foram muito diversificados em relação às áreas de atuação, tais como: sinalização de emergência das instalações, instalação suplementar de equipamentos para realização de testes nos helicópteros, modificação dos fluxos de entrada e saída das instalações devido à realização de obras, etc.

Tais estudos permitiram obter conhecimento de diversos aspectos das instalações propriamente ditas, e foram importantes para a adaptação à forma de trabalhar na empresa. Contudo, apesar de muito úteis, esses estudos possuíam caráter muito empírico, com pouca margem para uma reflexão mais profunda e a possibilidade de realizar um trabalho mais transversal. Além disso, eles não estavam diretamente relacionados às atividades principais da fábrica, de montagem final e produção de subcomponentes dos helicópteros.

No entanto, um problema importante na empresa foi o objeto inicial de estudo para a realização do trabalho de formatura. Tratava-se de uma situação problemática na linha de montagem das caudas do modelo EC-135.

---

<sup>1</sup> Nota do autor: Essa função é muito importante no contexto atual, no qual a implementação ainda ocorre. A garantia de uma construção e implementação dos escritórios e linhas de montagem conformes é responsabilidade direta do departamento.

## **2.7. Objeto de estudo e visão inicial do problema**

Como foi dito anteriormente, o contexto atual de implementação das instalações não permitem uma adequação da produção no que diz respeito à gestão dos fluxos e configuração dos postos de trabalho nas linhas do modo concebido em projeto. Contudo, o Hangar E (ver figura 6), onde são produzidas as caudas dos modelos EC-135 e Tigre, já está configurado da forma planejada, e as linhas de montagem já estão em funcionamento, sendo bem recentes.

Apesar disso, existem problemas nas linhas, principalmente com o modelo EC-135, já que a cadência da produção deste modelo é mais elevada. O principal problema, alvo de diversas reclamações dos trabalhadores, consiste no escoamento da matéria liberada de forma particulada nas operações com ferramentas abrasivas, necessárias no ajuste das peças para um acoplamento e fixação adequados. Tais procedimentos são feitos com o auxílio de um aspirador de emprego geral, e serão mais detalhados posteriormente.

Assim, tal problema era uma questão pendente, que deveria ser analisada e resolvida pelo departamento de Infra-Estruturas. Estudos já estavam em andamento, e uma solução já havia sido proposta. De fato, o departamento constatou uma inadequação do equipamento utilizado e propôs comprar aspiradores tipo industriais, em um investimento da ordem de 10 000 euros, de baixa ordem de grandeza de comparado a investimentos em novos equipamentos previstos na linha, da ordem de 300 000 euros. Assim, foi pedido ao estagiário que buscasse e avaliasse técnica e economicamente alguns fornecedores de equipamentos.

Dessa forma, tratar-se-ia de um estudo com mais detalhes uma solução já determinada, o uso de aspiradores industriais adequados ao processo, com utilização similar ao que é empregado atualmente. Logo, tal estudo seria um mero comparativo de equipamentos de fornecedores diferentes, de uma solução pré-determinada.

No início do estudo sugerido, buscou-se mais dados sobre tais tipos de aspiradores, bem como algumas informações relativas às preferências dos operadores. Porém, observando-se as operações realizadas, constatou-se a existência de alguns problemas relativos à presença física dos aspiradores na linha de produção. De fato, eles causam obstruções no fluxo entre os postos de trabalho, inconveniência sonora quando mais de dois aparelhos operam ao mesmo tempo, além de implicar a presença de cabos e mangueiras, potenciais causadores de tropeços.

Além disso, apesar de envolver valores considerados menores, o problema mostra ter relevância maior do que a previamente estimada pelo departamento, o que é constatado pela alta frequência de reclamações dos trabalhadores da linha de montagem das caudas do modelo EC-135. De fato, existem com queixas relativas ao incômodo nas operações (preparação e do aspirador e posicionamento da mangueira), que serão detalhadas posteriormente, bem como a espera pela utilização devido a paradas com manutenção, paradas não desejáveis e uso por outros postos de trabalho, o que implica tempo improdutivo na linha de produção e constituição de gargalos.

Assim, notam-se divergências do departamento de Infra-Estruturas e dos trabalhadores da linha de montagem das caudas do EC-135 no que diz respeito ao problema. Do ponto de vista do primeiro, trata-se em princípio de um problema sem grandes implicações e pouco valor econômico, apesar do contexto atual de escassez de recursos de curto prazo. Do ponto de vista do segundo, trata-se de um problema com implicações diretas na realização do trabalho, objeto freqüente de reclamações e diminuição da produtividade. Buscar-se-á, portanto, analisar o problema de forma mais profunda de maneira a confrontar necessidades da linha com restrições técnicas e orçamentárias, engajando todos os setores e/ou atores envolvidos.

Deste modo, decidiu-se por fazer uma análise mais profunda do problema, dada a percepção inicial que tal tema poderia trazer implicações importantes no funcionamento da linha de montagem e no ambiente do chão de fábrica. Deste modo, algumas questões que pareceram pertinentes em um primeiro momento para uma melhor compreensão foram levantadas, tais como:

- Quem são os atores envolvidos? Operadores? Chefe da produção? Departamento de Infra-estruturas? Qualidade?
- O processo de aspiração é intrínseco ao processo produtivo? Poder-se-ia decompor e separar o processo em operação e aspiração?
- Quais são realmente os problemas atuais nos processos e máquinas? Que conseqüências eles trazem?
- Como o problema é resolvido em outras fábricas da Eurocopter que operam há mais tempo?
- Existem alternativas à solução dada? O que existe no mercado?

Algumas questões puderam ser respondidas rapidamente. O processo de aspiração deve ser realizado ao mesmo tempo da operação, pois trata-se de um processo manual, onde o operador está exposto ao pó de fibra de carbono, material componente das peças, e tal exposição é perigosa, pois existe uma fração da matéria que pode ser inalada. Se a linha fosse automatizada, a aspiração e limpeza após a realização das operações, ou seja, a decomposição da tarefa, seria uma alternativa viável.

Outro ponto que pôde ser observado rapidamente foi a presença de alternativas no mercado para o problema. Assim, devem-se conhecer melhor os problemas e necessidades na linha, de forma a analisar o que existe, e ver o que pode ser criado ou adaptado. De todas as maneiras, o problema traz consequências imediatas e qualquer que seja a alternativa escolhida, levará certo tempo para ser implementada, dado a falta de recursos para esse fim pela empresa no momento.

Assim, decidiu-se propor alternativas em curto prazo, de forma a melhorar a situação atual de maneira incremental, ou seja, com práticas simples, mas que ajudarão a amenizar o problema e fornecerão informações importantes para uma avaliação mais precisa e adequada do problema e das possíveis alternativas de solução futuras.

Assim sendo, adotou-se um procedimento de diagnóstico mais detalhado para conhecer melhor as necessidades de aspiração da linha de montagem das caudas do EC-135, de forma a agir de maneira correta no curto e no longo prazo. Assim, tem-se um método geral de solução de problemas similar ao PDCA<sup>2</sup> foi adotado, com a aplicação de ferramentas de análise pesquisadas e julgadas adequadas em cada etapa da análise para solução do problema.

### **2.7.1. Delimitação de estudo e ferramentas de análise**

O problema dado foi questionado e alguns pontos foram levantados, e assim decidiu-se por delimitar a questão da aspiração no processo produtivo das caudas de helicóptero do modelo EC-135 como problema a ser analisado, resolvido e discutido, diagnosticando-se os problemas e as necessidades da linha, e propondo soluções, seguindo diretrizes semelhantes ao PDCA. Esse processo visa obter informações para uma compreensão mais aprofundada do problema, à proposição de soluções de implementação rápida, à geração e avaliação de

---

<sup>2</sup> PDCA: O Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), proposto por Shewhard e desenvolvido por Deming no Japão após a Segunda Guerra Mundial, consiste em um processo geral de resolução de problemas, onde se busca analisar a situação definir objetivos e escolher ferramentas, aplicar a metodologia, implementar as soluções e depois analisar e avaliar os resultados de maneira a propor alterações e/ou formalizar o que foi realizado.

alternativas capazes de responder às necessidades da linha de montagem, e ao detalhamento da solução escolhida.

Para estruturar e organizar esse processo, algumas ferramentas e conceitos serão empregados e utilizados. A interação do processo de aspiração com o processo produtivo deve ser analisada de forma a compreender de onde vêm os problemas e quais são suas consequências. O operador é o ponto chave dessa interação, e as implicações maiores sobre ele dizem respeito ao conforto e a distúrbios na realização do trabalho, ou seja, implicações ergonômicas. Dessa forma, um estudo da **Ergonomia** faz-se necessário durante a realização de todo o trabalho.

Para analisar os problemas no processo de aspiração, de forma a conhecê-los e agir rapidamente, optou-se por uma metodologia capaz de descrever o processo e analisá-lo de forma sistemática. Assim, o método **FMEA** será empregado para estruturar a análise e priorizar os problemas mais significativos, bem como para organizar o trabalho participativo.

Com tais informações, será possível pesquisar e formular alternativas capazes de responder às necessidades apontadas. Busca-se uma solução capaz de atender às necessidades e se possível melhorar a qualidade do ambiente de trabalho e mesmo dos produtos na linha de montagem. Soluções mais custosas, caso forem adotadas, devem ser capazes de “se pagar”, e para avaliar tal aspecto serão utilizadas técnicas da **Engenharia Econômica**.

## 2.8. Resumo do capítulo

Esse capítulo permitiu a obtenção de uma visão global da empresa, mostrando seu caráter fundamentalmente internacional, que influencia diretamente sua organização e seu funcionamento. Além disso, o contexto de trabalho foi mostrado, permitindo ver que tipo de atividades desencadeou a realização do trabalho de formatura, e como o tema foi questionado, reformulado e estruturado de forma a dar uma definição inicial do problema e quais ferramentas poderiam ser utilizadas para analisá-lo, resolvê-lo e discuti-lo. Tais ferramentas e conceitos são o tema da revisão bibliográfica no capítulo seguinte.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, uma revisão bibliográfica dos principais temas, conceitos e métodos abordados no trabalho é realizada. O objetivo do capítulo não é tratar de maneira exaustiva os tópicos, mas sim mostrar algumas referências importantes que foram utilizadas, bem como explicitar os métodos empregados na resolução do problema.

#### 3.1. Ergonomia

##### 3.1.1. Definições e objetivos

A palavra ergonomia deriva do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (regras), sendo assim uma ciência do trabalho.

Segundo a IEA (*International Ergonomics Association*) em 2000, a ergonomia é a ciência que busca uma compreensão fundamental das interações entre os seres humanos e os componentes de um sistema. Para tal, utiliza-se de princípios teóricos, dados e métodos, de forma a buscar a otimização do bem estar das pessoas, bem como do desempenho global dos sistemas.

Trata-se, portanto, de uma definição mais ampla que a sugerida pela SELF (*Société d'ergonomie de langue française*) formulada na década de 70, onde a Ergonomia preocupava-se essencialmente com o trabalho e seus componentes, tais como ferramentas, máquinas e dispositivos, de forma a forma concebê-los para visando obter o máximo de conforto, segurança e eficácia, ou seja, adaptando o trabalho ao homem.

A ergonomia busca, portanto, otimizar o bem-estar social e o desempenho global dos sistemas. Segundo Falzon et al. (2007), a especificidade da ergonomia reside em sua tensão entre dois objetivos. De um lado, tem-se a busca pelo desempenho, com melhorias de eficiência, produtividade, confiabilidade, etc. De outro, busca-se o bem-estar humano, com melhorias de segurança, saúde, conforto, facilidade de uso, prazer, etc.

Porém, tais objetivos não são necessariamente harmoniosos. De fato, é necessário que o ergonomista os tenha sempre em mente no momento de realizar análises para a compreensão, correção ou concepção das tarefas, para que essas possam atender a ambos objetivos, seja através de harmonia, seja com a busca de um compromisso entre os atores do sistema de trabalho.

Assim, é importante compreender o que é uma tarefa e como ela se é compreendida e executada, bem como o conceito de regulação.

### **3.1.2. Ergonomia física**

Segunda definição da IEA, a Ergonomia física trata de características do homem em relação à sua atividade física, com aspectos anatômicos, antropométricos, fisiológicos e biomecânicos. Assim, alguns temas são importantes nessa especialização, tais como a postura de trabalho, a manipulação de objetos, movimentos repetitivos, problemas ósseo-moleculares, arranjo físico dos postos de trabalho, a segurança e a saúde.

No contexto de análise da aspiração no processo produtivo das caudas de helicópteros do modelo EC-135, nota-se mais importância no que diz respeito às questões de saúde, segurança, manipulação de objetos e ferramentas e a configuração dos postos de trabalho, decorrentes da realização do processo de aspiração. Assim, dar-se-á mais ênfase na área de ergonomia física, utilizando-a na análise da situação atual, bem como um aspecto a ser levado em conta na proposição de alternativas para um novo sistema de aspiração, e também na avaliação das alternativas.

De fato, percebe-se a necessidade de estudar a dinâmica dos postos de trabalho da linha de montagem, bem como o manuseio das ferramentas e elementos que podem causar problemas nas operações e no conforto e bem estar dos operadores, como ruídos e material particulado.

Assim, buscar-se-á estudar os elementos importantes para analisar os postos de trabalho, de modo a utilizar a ergonomia de maneira adequada nos processos de diagnóstico da situação atual e avaliação de alternativas.

Para tal, alguns conceitos são importantes, a fim de realizar um diagnóstico mais adequado das atividades realizadas na linha de montagem, bem como a forma de conduzir as observações.



### 3.1.3. A abordagem da situação de trabalho

Para tornar a análise ergonômica mais eficaz, deve-se planejar a abordagem da situação e trabalho. Segundo Guérin et al. (1997), o processo de análise começa com uma demanda, que deve ser analisada em seu contexto, levando-se em conta o funcionamento da empresa, de forma a realizar um plano de observação, com a escolha e realização de diagnósticos das situações a analisar. Trata-se de um processo envolvendo diversas pessoas, de modo a obter informações de diversos pontos de vista, com momentos de consolidação destas, questionamentos e formulação de hipóteses por parte do realizador das análises.

Essas hipóteses, são ditas de nível 1 quando realizadas após obter-se mais conhecimento da demanda e do funcionamento da empresa, permitindo a escolha de situações de trabalho a serem analisadas mais detalhadamente, e de nível 2, onde as observações realizadas permitem a formulação de um pré-diagnóstico. (GUERIN et al. ,1997).

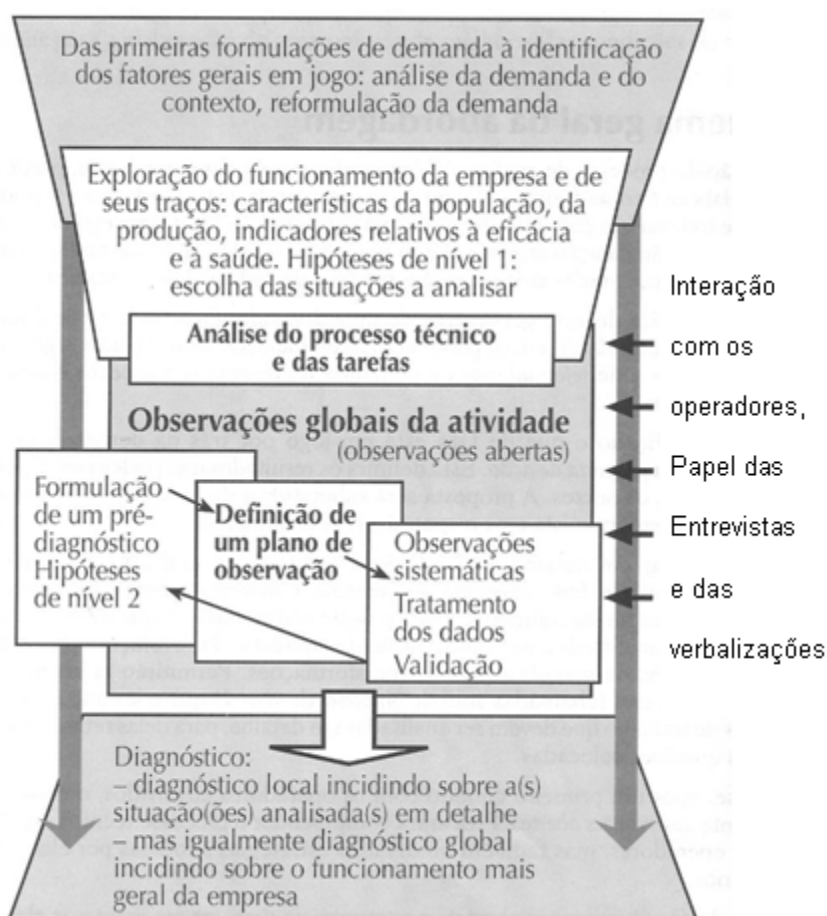


Figura 8 - Esquema geral de abordagem – Fonte: Guérin et al. (1997 p. 86)

### **3.1.4. A observação**

A observação é uma ferramenta essencial em análises ergonômicas, e deve ser efetuada quando a coleta de informações no local e momento da realização das atividades é necessária (GUERIN et al., 1997).

As observações são realizadas em diferentes momentos da análise, buscando-se uma noção geral primeiramente, e a busca de informações precisas, após a formulação das primeiras hipóteses. Além disso, as observações são o ponto de partida para a elaboração de questões destinadas aos operadores, e assim obtêm-se registros brutos, que podem ser mais ou menos estruturados.

A partir desses, pode-se proceder à estruturação dos dados obtidos, com categorizações, análises estatísticas (quando os dados são mais consistentes) e descrições mais detalhadas do trabalho que permitirão a realização de um pré-diagnóstico. Nesse contexto, planificar a observação de forma a antecipar e relembrar aspectos a serem observados também é importante.

Uma observação é mais bem realizada quando existem alguns conceitos de Ergonomia são definidos e clarificados, de modo a constatar fatos que vão além da mera observação, mas que fornecem pistas do comportamento dos operadores e sua relação com o sistema de trabalho, tais como interpretação de procedimentos formais, quando estes são explicitados, auto-regulação e influência de fatores externos.

#### **3.1.4.1. Tarefa e atividade**

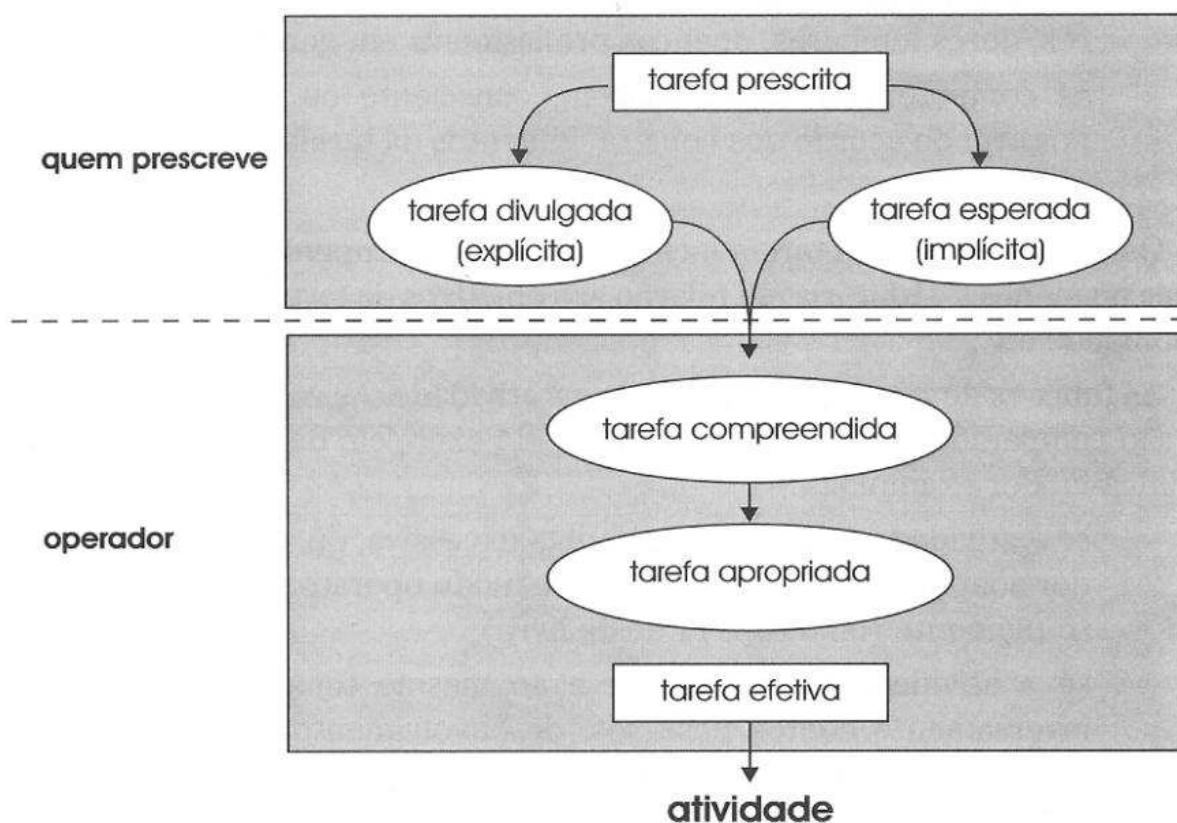
Falzon et al. (2007) define a tarefa como aquilo que deve ser feito, aquilo que é prescrito pela organização, sendo definida com um objetivo (quantidade, qualidade, etc.) a ser realizado e as condições (procedimentos, tempos, meios, etc.) para tal.

Já a atividade, é definida como os esforços realizados para efetuar uma tarefa, com uma subjetivação do objetivo previamente descrito nela.

Alguns autores fazem distinções suplementares da tarefa, sugerindo uma decomposição destas até chegar ao conceito de atividade.

Chabaud apud Falzon et al. (2007) diferencia uma tarefa explícita da tarefa esperada. No primeiro caso, tem-se a tarefa com toda a prescrição explicitada, e no segundo tem-se uma acomodação e uso do senso do operador para que se cumpra o objetivo da tarefa, jogando-se com as condições de realização. A tarefa prescrita seria, portanto, a soma dessas duas componentes.

A tarefa tal como é prescrita não é necessariamente o que é feito na realidade. A omissão ou modificação de prescrições e objetivos, ou seja, uma auto-reformulação destes pelos trabalhadores resulta em uma tarefa dita efetiva. Esta, por sua vez, decorre de uma compreensão e apropriação da tarefa prescrita pelo operador, com a inexatidão e julgamento existentes no processo (VEYRAC, 1998 apud FALZON et al. ,2007).



**Figura 9 – Esquema interpretativo da tarefa à atividade – Fonte: Falzon et al. (2007 p. 11)**

### **3.1.4.2. Regulação**

Entre as tarefas realizadas, existem tarefas ditas de regulação, que visam comparar os resultados com os objetivos, e também o cumprimento de prescrições de condição. Tais tarefas são características em sistemas dinâmicos. Segundo Falzon et al. (2007), a regulação tem um momento de detecção, de julgamento e de ação se julgada necessária. Além disso, ela pode ser longa ou curta, se os efeitos das ações forem lentos ou imediatos, respectivamente.

Outro aspecto da regulação é o tipo incidência, que pode ocorrer sobre um sistema técnico, ou sobre a própria atividade humana, e nessa última o operador se auto-regula.

O estudo dos mecanismos e desdobramentos da regulação fornece informações importantes referentes à qualidade de uma tarefa, bem como da assimilação e execução desta pelo operador, visualizada sob forma de atividade, o que permite a realização de correções e melhorias.

### **3.1.4.3. As ambiências físicas no posto de trabalho**

Segundo Millanvoye (2007), toda tarefa se desenvolve em um contexto, com exposição aos ruídos, as vibrações, ao micro clima e à iluminação do posto de trabalho, no que constitui o meio ambiente denominado ambiência física. Segundo Guérin et al. (1997), conforme a situação, deve-se analisar a ambiência física de forma a complementar a análise da atividade, e somente quando é possível relacioná-las. Assim, deve-se primeiro realizar medições e observações das atividades, para depois realizar medições das ambiências, se necessário.

Nessas medições, devem-se respeitar duas exigências:

- Espaço: Em um posto de trabalho, deve-se observar o deslocamento do operador e medi-lo caso exista, de modo a traçar um perímetro ou mapa da ambiência.
- Tempo: Deve-se buscar a reprodutibilidade das medidas realizadas em cenários onde as atividades se prolonguem, de maneira a não torná-las pontuais, e logo inválidas.

Com tais cuidados, os dados obtidos na análise de ambiência permitem, junto com a análise da atividade, a obtenção de um estudo para transformar e possivelmente melhorar o trabalho.

### **3.1.5. O relacionamento com os operadores e participação**

O relacionamento com os operadores é outro aspecto importante para analisar-se a situação do trabalho. Segundo Guérin et al. (1997), os primeiros contatos com os operadores são muito importantes, e deve-se esclarecer o objetivo da observação e o papel de cada um.

De fato, os trabalhadores sentem-se responsáveis e quase proprietários do espaço de trabalho, e uma intervenção externa pode não obter sucesso caso não haja negociação ou mesmo comunicação desta.

Análise e projetos de melhoria do trabalho, se bem apresentados e comunicados, são mais bem-vindos. Além disso, uma metodologia participativa é importante, principalmente se o intuito é transformar o sistema de trabalho em um esforço centrado no usuário (FALZON et al., 2007).

Segundo Falzon et al. (2007), a conscientização dos participantes é importante para análise e melhoria dos sistemas no que diz respeito aos critérios ergonômicos, mas é preciso formalizar e sistematizar as relações de maneira adequada.

Darses e Reuzeau (2007) sugerem o uso de análise funcional com a decomposição de tarefas, de forma a identificar problemas e situações passíveis de modificação. Para estruturar e sistematizar o processo, o uso de métodos como o FMEA é recomendado, de maneira a reunir os atores e hierarquizar os problemas e as ações a serem tomadas.

### **3.1.6. Aplicação**

A Ergonomia será utilizada de forma a compreender melhor o funcionamento da linha de montagem do EC-135 e as interações existentes entre os operadores e os diferentes elementos do sistema de trabalho. Assim, para realizar o diagnóstico, buscar-se-á a seguir o esquema sugerido na figura 8, e para que tal procedimento seja mais eficiente, deve-se saber o que deve ser observado e como tal observação pode ser melhorada. Para tal é recomendado envolver os operadores no processo e levar em conta influências externas na realização do trabalho, bem como buscar observar o que deve ser feito, o que é feito, e quais são as variações das atividades realizadas e do trabalho prescrito.

### 3.2. FMEA

#### 3.2.1. Definições e objetivos

O FMEA (*Failure Mode And Effects Analysis*) é uma ferramenta da qualidade que visa estudar produtos, processos e projetos antes de sua execução, produção ou implementação, de modo a identificar os potenciais de falha, suas possíveis causas, suas possíveis consequências e formas de detecção das mesmas.

Essa ferramenta surgiu de forma não formal durante os anos 40, sendo aplicada no Exército Americano. Porém, foi na década de 70 que sua utilização foi difundida e formalizada na NASA (Agência Espacial Americana), durante a execução do programa Apollo. Atualmente, o FMEA é largamente empregado na indústria automobilística, e é um fator importante para a redução de custos na fase de projeto de desenvolvimento de produtos, serviços e processos. Além disso, é uma ferramenta importante para a análise de problemas em grupo, permitindo forte grau de sistematização.

“O FMEA é uma ferramenta que segue uma análise sistemática para orientar e evidenciar de forma preventiva as falhas em potencial dos produtos e processos em desenvolvimento de modo que suas respectivas causas sejam analisadas para que se possam tomar ações preventivas necessárias evitando suas ocorrências”. (BOUER, 2005).

Segundo Palady (2004), o FMEA é mais eficaz quando aplicado em grupo, pois a capacidade de enxergar um projeto, produto, equipamento ou processo de diversas perspectivas é uma vantagem da ferramenta, mesmo se uma execução em caráter individual também seja possível. Pesnel (2005) defende uma mobilização de conhecimentos de diferentes atores para a realização do FMEA, para estudos relacionados a equipamentos, métodos, fabricação, manutenção e qualidade. Se o equipamento for externo, a participação do fornecedor também é desejável.

O objetivo principal dessa ferramenta é avaliar um objeto de estudo visando identificar seus modos de falha, e corrigi-los ou amenizá-los, através da realização de um prognóstico, quando este é possível. A metodologia de sua aplicação é muito similar, com algumas diferenciações na decomposição analítica realizada, segundo o objeto de estudo, o que será detalhado adiante.

Pesnel (2005) resume o objetivo do FMEA como sendo melhorar a confiabilidade de um dispositivo, examinando:

- Os modos de falha potenciais, com decomposição em:
  - o Suas causas (na concepção ou no contexto de fabricação ou utilização);
  - o Seus efeitos (sobre o funcionamento do dispositivo);
  - o Sua criticidade (para hierarquizar a ação sobre eles).

Palady (2004), por outro lado, defende uma divisão do FMEA em processos e projetos, pois os objetivos deles são bem diferentes, identificados através de perguntas.

*“Para o FMEA de projeto, a equipe deve perguntar:*

- *Como esse projeto pode deixar de fazer o que deve fazer?*
- *O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais do projeto?*

*Para o FMEA de processo, a pergunta é diferente:*

- *Como esse processo pode deixar de fazer o que deve fazer?*
- *O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais de processo?”*

(PALADY, 2004 p. 7)

No contexto do trabalho, serão analisados mais detalhadamente os processos de FMEA de Processo e de Equipamentos, que serão utilizados para descrever e analisar o funcionamento do equipamento e do processo utilizados atualmente no processo de aspiração da linha de montagem das caudas do EC-135. Pesnel (2005) classifica os FMEAs de processo e de equipamento, como sendo o estudo da confiabilidade do equipamento através da análise de sua concepção e/ou utilização para o primeiro, e análise das operações do processo de produção (fabricação, controle, manutenção, expedição, etc.) no segundo.

Segundo Bouer (2005), uma maneira eficiente de desenvolver o FMEA de processo, atrelado ao equipamento, é assumir que os insumos do processo são bons e o processo inaquedado, e depois deve-se proceder de forma inversa.

### 3.2.2. Desdobramento da análise FMEA

Segundo Palady (2004), o FMEA, qualquer que seja, possui cinco elementos essenciais, que são:

- 1 Planejar o FMEA, de modo a selecionar a variação mais adequada para o dispositivo a ser analisado;
- 2 Listar os modos de falha, causas e efeitos;
- 3 Priorizar isolar os modos de falha mais importantes;
- 4 Interpretar ou ler os resultados;
- 5 Acompanhar o processo de obtenção de dados e de implementação de recomendações sugeridas.

Os itens 2 e 3 são os itens que diferenciam o FMEA de outros métodos, através de uma sistematização da análise, realizada pela decomposição de um processo ou produto, análise das funções destes, e a criação de índices para quantificar os modos de falha quanto a sua frequência, gravidade e nível de detecção, e a relação entre estes. Bouer (2005) relaciona contextualiza tais elementos, através de um esquema relacional e temporal:

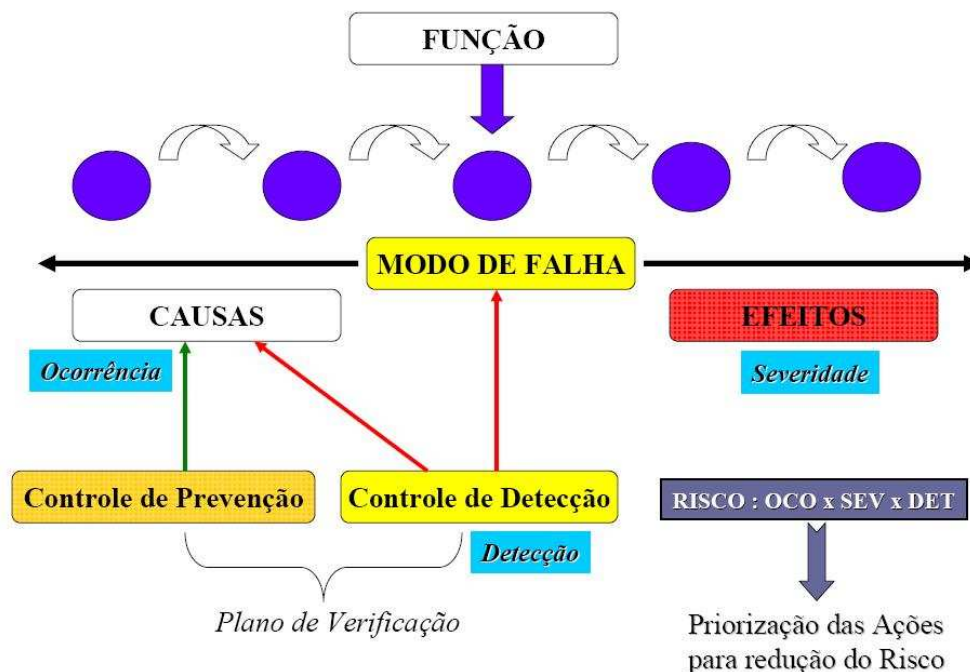


Figura 10 – Relação entre elementos do FMEA – Fonte: Bouer (2005 p. 10)

As funções do objeto de estudo expressam as atividades a serem realizadas para que o objeto cumpra seu objetivo. Segundo Palady (2004), as funções devem ser estudadas com cautela, pois são a base para o desenvolvimento do FMEA e identificação dos modos de falha de



forma concisa e exata é fundamental. Bouer (2005) sugere caracterizar as funções em verbo no infinitivo seguido de um substantivo, com a utilização de especificações de desempenho mensuráveis.

O produto dos valores atribuídos para a ocorrência, severidade e detecção do modo de falha constitui o IPR, Índice de Priorização de Risco, utilizado para classificar os modos de falha e priorizá-los para a formulação de planos de ação derivados das ações recomendadas em um primeiro momento.

As funções são melhor visualizadas quando associadas a etapas de um processo ou componentes de um produto. Nesse último, é comum a participação dos componentes em mais de uma função. As técnicas para relacionar funções em processos e produtos, a etapas e componentes respectivamente, serão mais exploradas posteriormente.

Abaixo, segue um exemplo de funções na confecção de um barco de vela a papel com dobraduras.

**Tabela 1 – Exemplos de funções – Fonte : Adaptado de Bouer (2005 p. 15)**

<b>Verbo no Infinitivo</b>	<b>Substantivo</b>	<b>Possíveis Especificações</b>
Marcar	Ponto médio da folha	Ponto médio entre as duas extremidades de uma folha A4
Dobrar	A folha	Triângulo montado com traço intermediário vertical
Conferir	A simetria e a justaposição	Sem desníveis nem aberturas

A abordagem sistemática dos modos de falha implica uma análise das causas, efeitos e modos de controle destes, de modo a discriminar de onde vem sua criticidade. Bouer (2005) define esses conceitos:

- **Modo de falha:** é modo pelo qual um componente de um produto e/ou uma operação / atividade pode falhar
- **Efeito da falha:** é a consequência que um modo de falha traz, com efeitos sobre o cliente interno ou externo, em relação aos requisitos de uso, função ou status do produto ou processo.

- **CAUSA:** é a razão pela qual irá ocorrer um modo de falha, sendo uma indicação do ponto fraco que tem como efeito o modo de falha. a causa de um modo de falha pode ser definida como a razão pela qual irá ocorrer o modo de falha, ou seja, é a indicação do ponto fraco do projeto / processo, cuja consequência é o modo de falha.
- **Plano de Verificação:** é a forma de detectar e/ou prevenir um modo de falha, atuando sobre as causas apontadas de forma a assegurar a adequação do produto ou processo.

Com o mapeamento dos modos de falha e as respectivas causas, efeitos e planos de verificação, devem-se lhes atribuir notas, com a constituição, respectivamente, dos índices de gravidade, ocorrência e detecção. Normalmente, utiliza-se uma escala de 1 a 10.

**Tabela 2 – Exemplo de escala utilizada para avaliar severidade no FMEA**

**Fonte: Adaptado de Bouer (2005 p. 21)**

<b>EFEITOS</b>	<b>CRITÉRIO</b>	<b>SEVERIDADE</b>
Perigoso – sem advertência	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha afeta a segurança na operação e/ou envolve desacordos c/ legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigoso – com advertência	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha afeta a segurança na operação e/ou envolve desacordos c/ legislação governamental com aviso prévio	9
Muito Alto	Cliente muito insatisfeito. Perda da função primária do item	8
Alto	Cliente insatisfeito. Veículo / Item em operação, porém com itens de conforto e/ou conveniência fora de operação	7
Moderado	Cliente insatisfeito. Veículo / Item em operação, porém com itens de conforto e/ou conveniência fora de operação com nível de desempenho apenas tolerável	6
Baixo	Cliente um pouco insatisfeito. Veículo / Item em operação porém com itens de conforto e/ou conveniência com nível de desempenho reduzido	5
Muito Baixo	Defeito observado pela maioria dos clientes (mais de 75%). Itens de acabamento e ruído não estão em conformidade	4
Menor	Defeito notado por metade dos clientes. Itens de acabamento e redução de ruído não estão em conformidade	3
Muito Menor	Defeito notado por uma minoria de clientes (menos de 25%). Itens de acabamento e redução de ruído não estão em conformidade	2
Nenhum	Sem Efeito	1

Pesnel (2005), assim como Palady (2004) defendem a adaptação das escalas para avaliação dos índices no contexto no qual será realizado o FMEA. Além disso, os IPRs críticos mínimos devem ser estabelecidos também de acordo com o contexto. (PESNEL, 2005)

Com os modos de falha explicitados e avaliados, proceder-se-á à proposição de ações recomendadas e a reavaliação destas após a implementação ou em forma de previsão, priorizando-se os modos de falha com IPR mais elevado.

Os índices e o FMEA como um todo devem ser refeitos quando ha mudanças significativas no processo ou no produto, de forma a atualizar e antecipar problemas e medidas corretivas.

A composição de um documento FMEA, bem como a sequência para sua estruturação, são melhor visualizadas na figura a seguir:

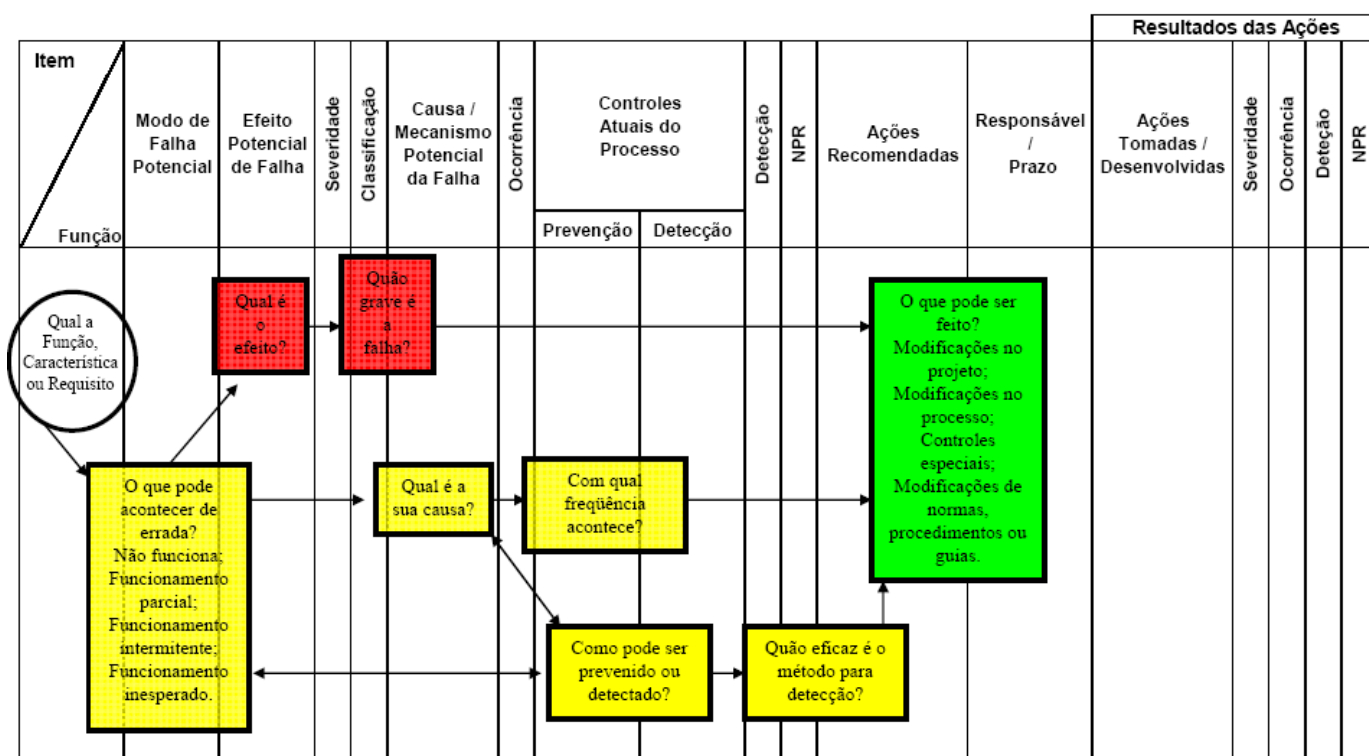


Figura 11 – Desdobramento da análise FMEA – Fonte: Bouer (2005 p. 12)

Como visto anteriormente, o FMEA possui algumas variações que, apesar de possuírem uma estrutura com diversos elementos em comum, diferem em alguns pontos, principalmente no que diz respeito à forma de abordagem para a aplicação do método e os objetivos. Assim, os métodos FMEA de processo e de equipamento serão mais explorados, visto que são empregados para na análise e resolução do problema proposto neste trabalho.

### 3.2.3. FMEA de Equipamento

O FMEA de equipamento, ou meio de execução, visa estudar a confiabilidade de um dispositivo, analisando sua concepção e/ou sua utilização. (PESNEL, 2005).

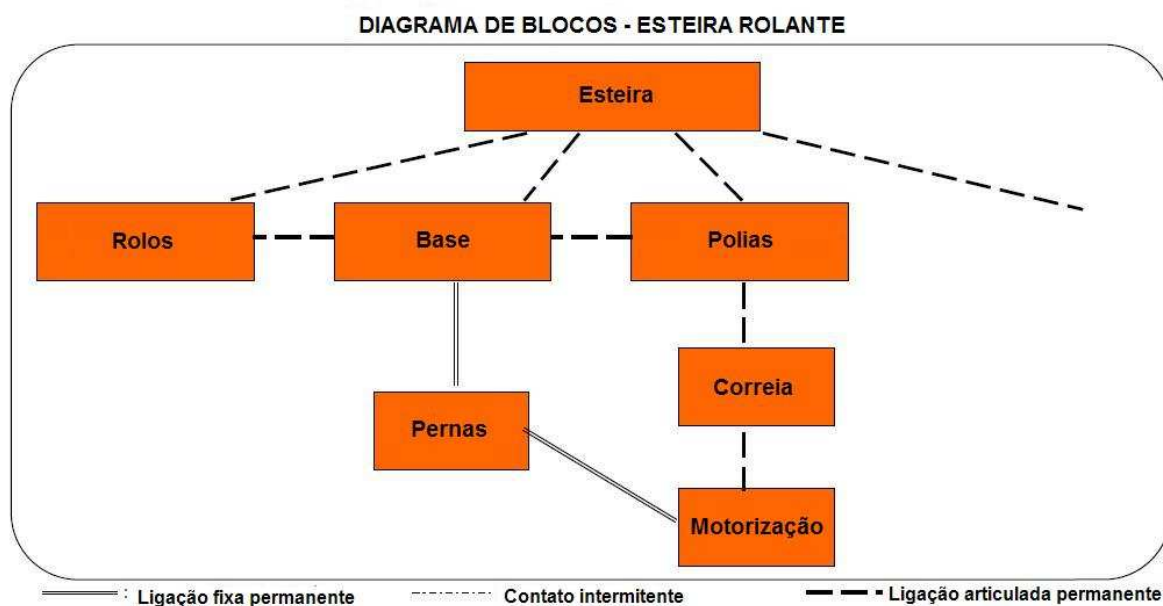
Pesnel (2005) define as principais etapas de realização de um FMEA de equipamento, como sendo:

- 1 Definição do objeto de estudo;
- 2 Análise do equipamento;
- 3 Análise de modos de falha potenciais em cada elemento;
- 4 Análise de causas dos modos de falha;
- 5 Análise de efeitos;
- 6 Atribuir as notas a cada modo de falha potencial, de forma a avaliar sua criticidade;
- 7 Selecionar as criticidades sobre as quais é necessário agir;
- 8 Descrever os planos de verificação de prevenção ou detecção existentes;
- 9 Formular soluções capazes de reduzir as criticidades;
- 10 Reavaliar as criticidades;
- 11 Implementar planos de ação.

As etapas 1 e 2 consistem na definição e delimitação do objeto de estudo, bem como na decomposição deste de forma a entender o funcionamento do equipamento e desdobrá-lo de modo a mapear os modos de falha. A definição do objeto de estudo decorre da definição do contexto, estabelecendo-se quem são os clientes do objeto, quais são os objetivos a serem atingidos e em qual horizonte de tempo. (PESNEL, 2005).

No que diz respeito à análise do equipamento, a realização de uma análise estrutural, uma análise funcional e a relação entre essas, permitem uma descrição do objeto de estudo onde apareçam as ligações existentes entre os diferentes elementos e a mobilização destes para executar as funções necessárias ao bom funcionamento.

Pesnel (2005) recomenda a utilização de um diagrama de blocos para a visualização das relações entre os diferentes subsistemas.



**Figura 12 –Exemplo de diagrama de blocos – Adaptado de Pesnel (2005, p. 251)**

Deve-se, portanto, mapear quais subsistemas ou componentes são mobilizados para a realização de uma função do equipamento, e uma vez que esta esteja escrita de forma concisa e com especificações, é possível construir uma tabela de análise funcional. Essa servirá de base para o preenchimento das colunas de componente e função exercida, ponto de partida para analisar os possíveis modos de falha. Abaixo, segue um exemplo de funções da esteira rolante e tabela de análise funcional:

- F1 - Transferir as peças ao robô de montagem
- F2 - Sustentar o conjunto sobre o chão
- F3 - Funcionar nas condições operacionais
- F4 - Ser acessível à manutenção
- F5 - Estar de acordo com as normas

**Tabela 3 – Exemplo de Análise Funcional - Fonte: Adaptado de Pesnel (2005 p. 261)**

Componente/Função	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Subsistema Esteira</b>	x		x		x
<b>Base e subsistema pernas</b>	x	x			x
<b>Subsistema de polias</b>	x		x	x	x
...					

As etapas 3 a 8 envolvem um trabalho de análise de dados de diversas fontes e pessoas, de forma a mapear e avaliar da maneira mais completa possível os modos de falha, estabelecendo-se os critérios de avaliação segundo o contexto. Ferramentas da qualidade

(Diagrama de Ishikawa, Folha de Verificação, etc.) podem auxiliar na obtenção de dados qualitativos e quantitativos. As técnicas, no entanto, variam muito de acordo com o nível de dados existentes e o grau de envolvimento dos participantes (PALADY, 2004).

As etapas 9, 10 e 11 visam propor e implementar melhorias aos modos de falhas mais críticos e/ou aqueles que têm gravidade na escala máxima estabelecida. Palady (2004) recomenda ações priorizando a diminuição das ocorrências agindo sobre as causas, e caso tal medida seja muito custosa e/ou insuficiente para baixar o IPR a níveis toleráveis, proceder-se-á a busca por métodos de detecção mais eficientes.

### 3.2.4. FMEA de Processo

O FMEA de processo visa estudar um processo de modo a garantir que todos os modos de falha potenciais sejam analisados e que medidas corretivas e preventivas sejam tomadas. A análise do processo é feita através de seu desdobramento em fases, operações e atividades. (BOUER, 2005).

Assim, diferentemente do FMEA de Equipamento, o tempo baliza a análise, e não a estrutura física. No entanto, da mesma maneira que o corre no FMEA de Equipamento, as etapas são associadas a funções. De fato, em geral, cada etapa corresponde à realização de uma função no processo.

Como descrito em 3.2.2, as funções devem estar em forma de verbo no infinitivo acompanhada de um substantivo. Uma maneira eficiente de descrever o processo é através da utilização de fluxogramas, que permitem uma visualização estática do seguimento do processo e das relações de precedência e eventual concomitância entre as etapas, bem como as variações que podem existir.

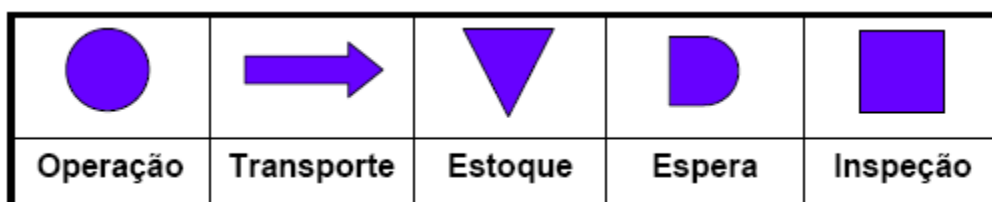


Figura 13 – Itens de um fluxograma – Fonte: Bouer (2005 p. 14)

Bouer (2005) sugere um roteiro para aplicação do FMEA de Processo, similar ao proposto por Pesnel (2005) para o FMEA de Equipamento, com diferenças no desdobramento da análise objeto de estudo:

- 1 Identificação do objeto de estudo;
- 2 Identificação dos itens em fluxograma de processo;
- 3 Caracterização das funções de cada etapa do processo;
- 4 Identificação dos modos de falha, com suas causas e efeitos;
- 5 Identificação do modo de detecção das falhas;
- 6 Avaliação dos índices de gravidade, frequência e detecção;
- 7 Formulação de ações recomendadas para diminuir os índices de prioridade de risco;
- 8 Controle das ações;
- 9 Revisão dos índices calculados para avaliar as ações;
- 10 Atualização e revisão do FMEA quando for preciso.

As etapas 1, 2 e 3 correspondem à preparação para análise sistemática dos modos de falha, adaptada, nesse caso, ao contexto de um processo. As etapas 4 a 7 correspondem à análise sistemática dos modos de falha, e as etapas restantes dizem respeito à implementação das ações de melhoria em planos de ação. Nota-se que Bouer (2005) utiliza uma abordagem semelhante à essência do PDCA.

De fato, o PDCA é um conceito importante para o fornecimento das diretrizes da análise a ser realizada no processo de aspiração, e o FMEA foi a metodologia utilizada para sistematizá-la em nível operacional e de modo a envolver um maior número de atores.

### **3.3. Engenharia econômica**

#### **3.3.1. Definições e objetivos**

A Engenharia Econômica consiste em uma disciplina baseada na ciência exata denominada Matemática Financeira, a qual busca descrever e modelizar o comportamento do dinheiro no tempo. De fato, um engenheiro deve tomar decisões sobre novos projetos, os quais implicam avaliar alternativas, dado a limitação de recursos. Um dos critérios a ser levado em conta é o critério econômico-financeiro, onde ganhos serão comparados aos custos acarretados. Assim,

critérios quantitativos são utilizados para a avaliação dos aspectos econômico-financeiros na seleção de projetos de investimento. (EHRlich, 2005).

Para tal, existem diversos métodos de análise de investimentos, que consistem em aplicações de conceitos e ferramentas da Matemática Financeira, com alguns parâmetros fundamentais, que são:

- Entradas de capital;
- Saídas de capital;
- Taxa de atualização;
- Períodos.

Com esses valores, é possível realizar análises que permitem a obtenção de dados relativos a:

- Valor líquido de uma série de entradas e saídas de capital em um determinado período;
- Taxa de atualização que permite igualar as entradas de capital, ou seja, os gastos e rendimentos de um investimento;
- Número de períodos para que o valor líquido de uma série com uma saída e diversas entradas seja igualado, ou seja, o prazo para que um investimento seja recuperado.

Tais parâmetros e critérios permitem a utilização de métodos, como o Valor Presente Líquido, o Equivalente Uniforme, a TIR – Taxa Interna de Retorno e o Prazo de Retorno (*Payback*). Os três primeiros métodos são equivalentes, enquanto o último implica cuidados na análise do problema antes de sua aplicação.

### **3.3.2. Valor Presente Líquido**

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma ferramenta simples com aplicação direta da Matemática Financeira, que permite comparar alternativas de investimento de mesmo prazo e sujeitas a um mesmo custo de oportunidade, o qual é utilizado como taxa de atualização. Assim, concentra-se todo o fluxo de capital em um ponto no tempo.

*“O método do Valor Atual consiste em colapsar todos os valores para o ponto  $t=0$ . Dadas diversas alternativas, é possível calcular os valores atuais equivalentes às séries correspondentes e compará-los para decidir qual a melhor.”* (ERHLICH, 2005 p. 21).

Respeitadas as condições de aplicação, a alternativa escolhida é aquela que apresentar maior VPL.



### 3.3.3. Equivalente Uniforme

Com a determinação de um fluxo de caixa de um investimento, pode-se calcular qual seria o valor equivalente a este por período, em uma derivação do método do VPL, que permite a comparação de alternativas com prazos diferentes. Define-se, portanto, o fluxo de caixa uniforme utilizando-se uma taxa mínima de atratividade.

*“Ao ser fornecida uma taxa mínima de atratividade, podemos transformar tais contribuições de valores diferentes em valores uniformes iguais, formando, portanto, uma série uniforme equivalente que muito auxiliará na análise de alternativas econômicas.”* (HIRSCHFELD, 2000 p.153)

Uma vez calculados os valores equivalentes uniformes de cada alternativa, escolher-se-á aquela que tem maior valor.

### 3.3.4. Taxa Interna de Retorno

Nesse método, busca-se igualar os fluxos de entrada e saída em um investimento. A taxa que permite tal igualdade é denominada TIR, Taxa Interna de Retorno. Tal método permite uma comparação rápida com o custo de oportunidade, ou mesmo a comparação entre TIRs de alternativas, caso o custo de oportunidade não seja claro.

O método exige a existência de entradas e saídas no fluxo de caixa, e a garantia de resposta só ocorre quando só existe uma inversão de sinal, como no caso de um gasto inicial e retornos nos períodos seguintes, por exemplo. Caso contrário, os resultados podem não ter sentido econômico, visto que trata-se de um método que utiliza um algoritmo de cálculo baseado em um processo de busca. (EHRlich, 2005).

Assim, dadas alternativas passíveis de avaliação pela TIR, sujeitas ao mesmo grau de risco, escolher-se-á aquela que obtiver uma taxa mais elevada.

### **3.3.5. Prazo de retorno - *Payback***

O método do *payback* visa indicar a partir de qual instante um investimento passa a ser lucrativo, ou seja, quando o investimento inicial é recuperado. A condição de existência de apenas uma inversão de sinal é ainda mais importante nesse método. Esse método é o mais criticado pelos estudiosos de Engenharia Econômica, dado seu caráter menos rigoroso e mais imediatista, que pode conduzir à tomada de decisões não adequadas. Erhlich (2005) argumenta que o método pode “enganar”, visto que encerra sua análise quando o período no qual o investimento é recuperado é encontrado, sem levar em conta o que ocorre posteriormente.

Apesar disso, esse método é muito utilizado. Hirschfeld (2000) argumenta que muitos investidores acabam preferindo a alternativa de retorno mais rápido em detrimento do maior lucro, como forma de proteção ao risco.

Tal método, no entanto, pode ser utilizado para analisar um investimento no que diz respeito a seu retorno comparado com sua vida útil, onde busca-se comprovar que vale a pena investir quando os ganhos obtidos recuperam o investimento em um prazo inferior à sua vida útil.

## **3.4. Resumo do capítulo**

Neste capítulo, uma revisão da literatura referente a temas, metodologias e ferramentas empregadas no trabalho foi realizada. Em cada tema, buscou-se fornecer uma definição e determinação dos objetivos, bem como os desdobramentos da aplicação em problemas de Engenharia de Produção. Possivelmente, nem tudo que foi colocado será plenamente utilizado na resolução do problema, mas uma revisão mais ampla permitiu a comparação de métodos, bem como uma compreensão da encadeação destes.

A Ergonomia é uma das questões fundamentais a serem observadas na linha de montagem de caudas do modelo EC-135, dadas suas implicações no trabalho dos operadores. Além disso, o estudo desse tema permitiu um planejamento de toda a fase de obtenção de dados e realização de um diagnóstico mais detalhado. O estudo da Ergonomia mostrou que a aplicação de métodos sistematizados para a análise de problemas é uma maneira eficiente de obter dados.

Assim, o FMEA, método pesquisado para ser utilizado na análise dos problemas da linha de montagem no que diz respeito ao equipamento empregado e na realização do processo, poderá estruturar a coleta e consolidação de dados, inclusive no que diz respeito à Ergonomia. Uma

pesquisa mais detalhada do método FMEA mostrou sua aplicação em atividades de manutenção, no que diz respeito ao equipamento, com o fornecimento de uma análise organizada do equipamento, complementar à análise do processo.

Além disso, métodos de avaliação de investimentos serão utilizados para quantificar ganhos e gastos, de forma a mostrar a viabilidade econômica da solução escolhida por análise de diversos critérios, os quais incluem aspectos econômicos.

Finalmente, pode-se dizer, de maneira geral, que a metodologia de resolução do problema como um todo segue as diretrizes da técnica PDCA, e as atividades de planejamento e escolha da alternativa constituem as etapas de planejamento e execução, enquanto as etapas de verificação e correção estão previstas, mas não foram implementadas ainda.

A análise e diagnóstico da situação atual, a proposição de melhorias incrementais de curto prazo, e a avaliação, escolha e detalhamento da solução escolhida serão os temas dos próximos capítulos.



## 4. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO E MELHORIAS INCREMENTAIS

Este capítulo visa mostrar como o problema foi tratado, descrevendo de forma mais detalhada a situação atual, a problemática e a metodologia de obtenção de dados e informações, bem como a consolidação destes. A estruturação da análise e a geração de propostas de melhoria em forma de planos de ação implementáveis em curto prazo são formuladas através da utilização da metodologia FMEA. Além disso, propor-se-á uma troca provisória de equipamento de aspiração em curto prazo, compatível com o contexto de expansão da fábrica.

### 4.1. Situação atual

A linha de montagem das caudas do modelo EC-135 se localiza no hangar E (ver figura 6) da fábrica, produzindo caudas para a linha de montagem final (FAL) de Albacete e de Donauwörth. Trata-se, de fato, da montagem de peças pré-fabricadas de fibra de carbono, com a realização de ajustes, necessários para acoplá-las e rebitá-las de maneira correta.

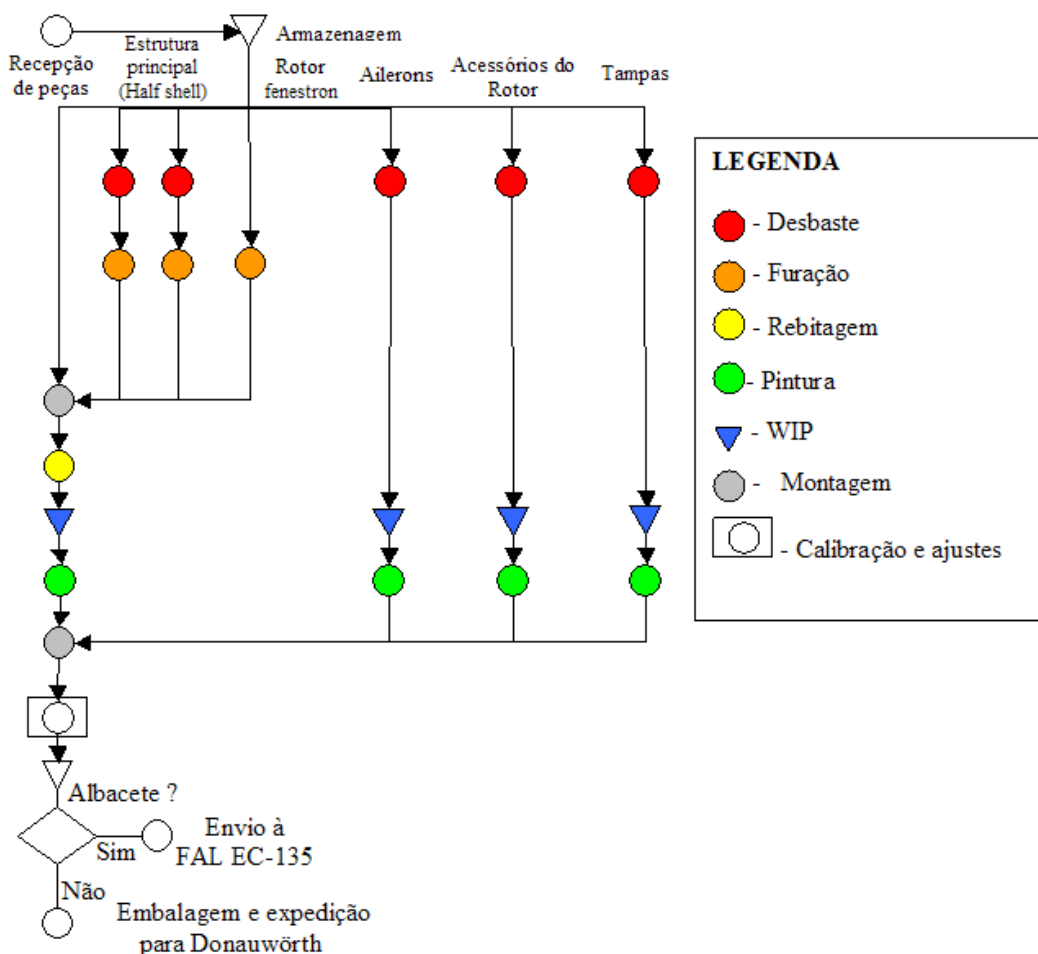
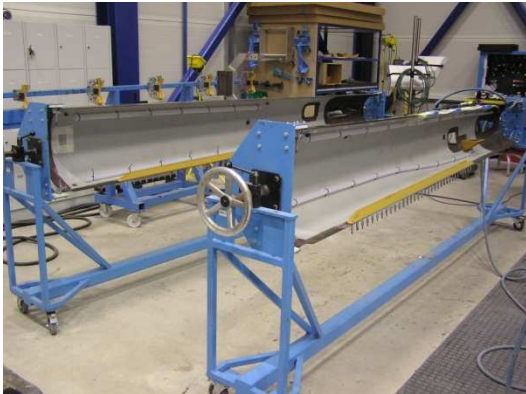


Figura 14 – Diagrama de montagem de uma cauda do EC-135 – Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na linha de montagem, cada cauda constitui um KIT, identificado com uma etiqueta de codificação numérica simples, de forma a efetuar um controle interno e obter rastreabilidade das peças.

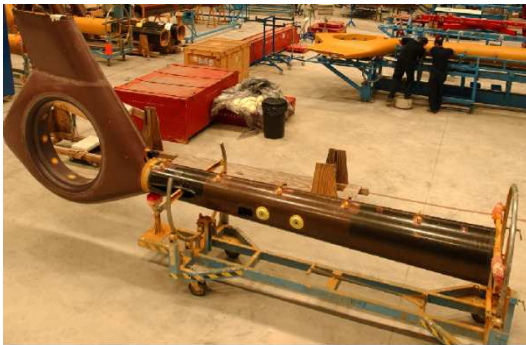
As peças que compõem um KIT são transportadas de três formas no Hangar:



**Figura 15 - Módulo de transporte das “half shells” - Fonte: Tomada pelo autor.**

- **Módulo de transporte de “half shells”<sup>3</sup>** :

Esse módulo foi concebido para assegurar um transporte rápido dessas peças, bem como permitir um posicionamento e fixação adequados para as operações de desbaste nas peças.



**Figura 16 – Módulo de transporte da cauda - Fonte: Tomada pelo autor.**

- **Modulo de transporte de transporte de cauda montada:**

Esse módulo é utilizado em geral para transportar a cauda montada, mas ainda com status de WIP, de modo a deslocá-las à oficina de pintura.



- **Ponte rolante** : A ponte rolante do hangar é usada para efetuar deslocamentos menores, entre dois postos de trabalho consecutivos ou no mesmo posto de trabalho, quando os outros módulos de transporte não convêm.

**Figura 17 – Ponte rolante do Hangar - Fonte: Tomada pelo autor.**

<sup>3</sup> As half shells “ são duas peças em forma de telha que formam a estrutura principal da cauda.

O processo de montagem é dividido nas etapas mostradas na figura 18, em uma configuração de layout por produto<sup>4</sup> com o fornecimento de energia e de ar comprimido por galerias subterrâneas que possuem ramificações nos postos de trabalhos. Tais ramificações são chamadas de “arquetas”.

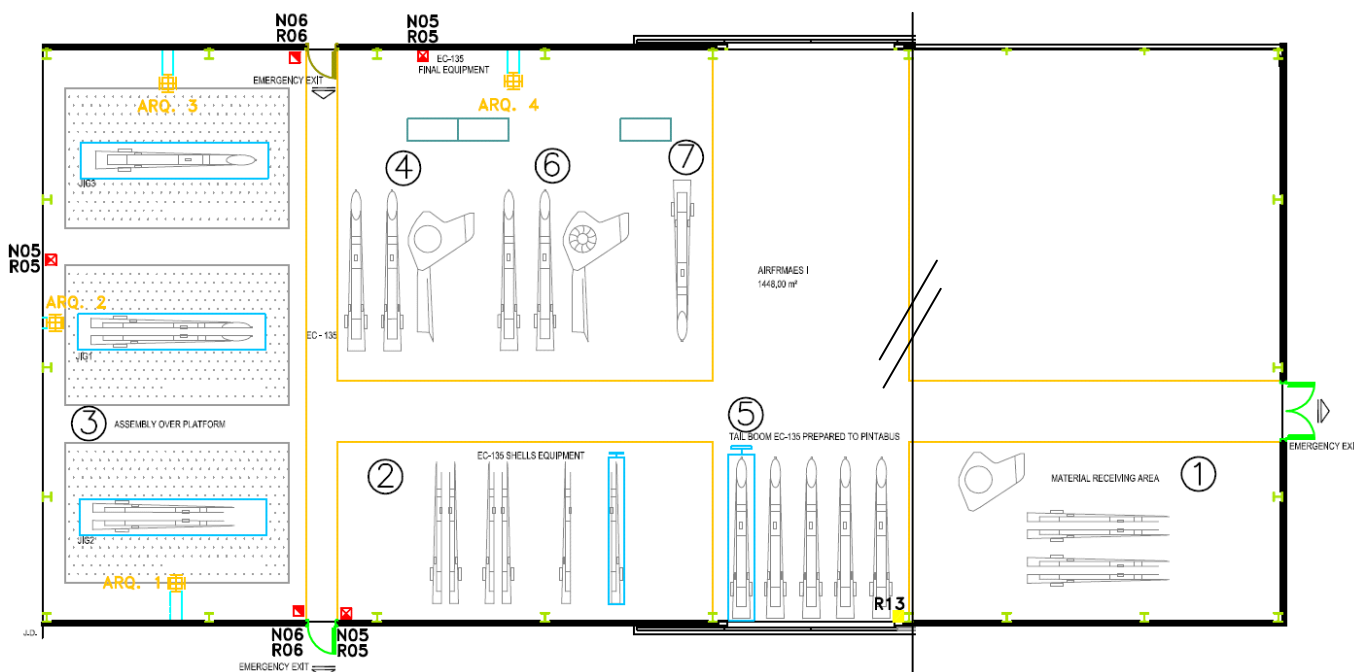


Figura 18 – Linha de montagem das caudas de EC-135 – Fonte: Elaborado pelo Autor.

- 1 - **Material receiving area** : Estocagem de peças recebidas do depósito.
- 2 - **Shells equipment** : Preparação e ajustes das “half shells “ para a acoplagem.
- 3 - **Assembly over platform** : Montagem das “half shells“ com o rotor em três plataformas especiais (JIG) para acomodar as peças.
- 4/5 - **Pontos de estocagem de WIP** : Estocagem de peças antes e depois da pintura<sup>5</sup>.
- 6 - **Final equipment** : Montagem do suporte do eixo de transmissão do rotor e ajustes para acoplagem de peças auxiliares..
- 7 - **Calibração** : Ajuste e calibração para alinhamento final da cauda.

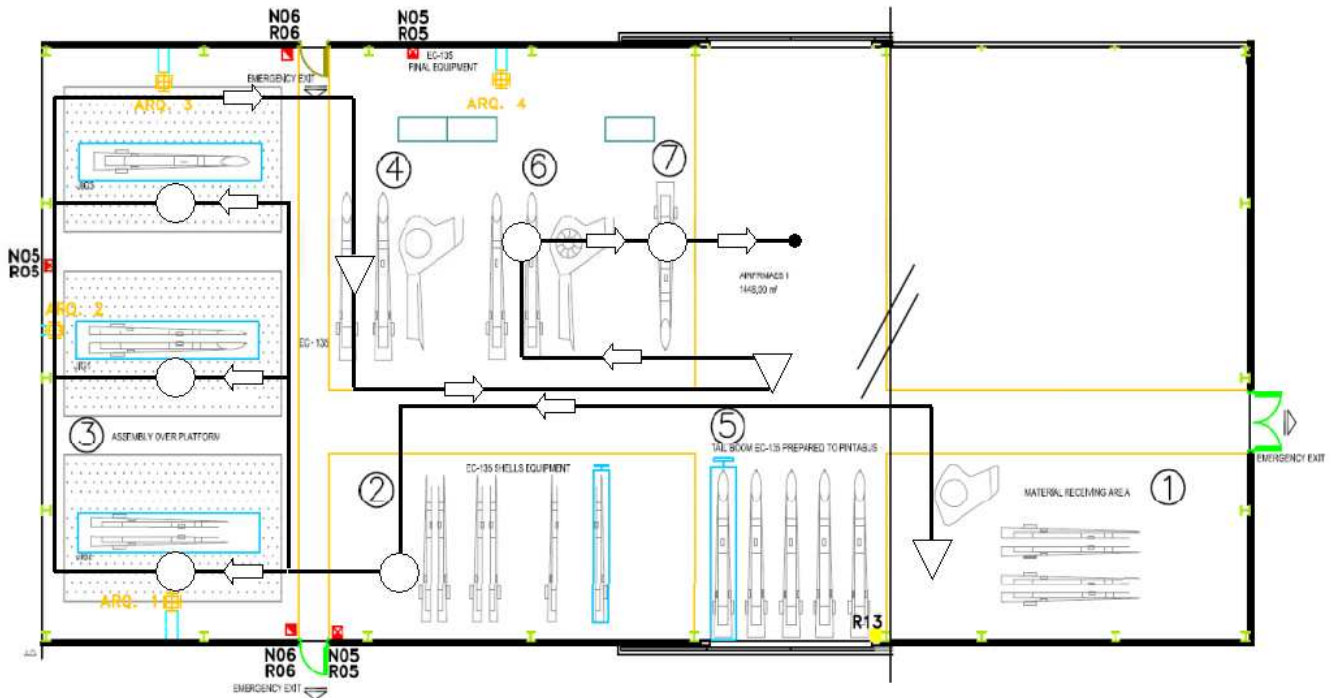
Apos a etapa 7, o KIT é transportado à linha de montagem final de Albacete, no Hangar B (ver figura 6), ou embalado em um caixa especial para ser enviado a Donauwörth.

Um estudo das formas de transporte na linha é importante para uma melhor compreensão dos fluxos. De fato, a utilização dos módulos de transporte de “half shells ” no posto 2 é bem

<sup>4</sup> A linha de montagem das caudas do modelo Tigre se encontra no mesmo hangar, com uma replicação de alguns postos de trabalho, constituindo, portanto, duas linhas de produção independentes.

<sup>5</sup> A pintura das caudas é terceirizada.

significativa, com movimentação e acumulação constantes. Além disso, nota-se um fluxo de peças em três dimensões, com a utilização da ponte rolante.



**Figura 19 – Mapofluxograma linha de montagem – Fonte: Elaborado pelo Autor.**

Os aspiradores são utilizados concomitantemente aos fluxos de peças, e logo um distúrbio nos fluxos pode ocorrer, já que eles devem ser transportados aos locais onde são requisitados.

A linha de produção ainda está em fase de consolidação, e os tempos de produção não estão padronizados, sendo objeto de medições e formalizações. Grosso modo, o *lead time* é de cerca de 120 horas, segundo informações do responsável pela produção, e o posto gargalo é o posto 3, com 40 horas de trabalho aproximadamente, ou seja, uma semana, sendo esse o posto que dita a cadência da linha. Com três plataformas operando nesse posto, tem-se uma cadência média de três KITS por semana, que foi comprovada durante o período de realização do estudo.

Em um contexto de implementação e consolidação, não há ainda um sistema de controle e gestão totalmente operacionais. A equipe de produção trabalha na elaboração de indicadores de qualidade e nível de serviço. A questão da aspiração no processo produtivo deve, portanto, ser discutida e inserida nesses estudos, de forma a obter uma solução compatível com as



necessidades do chão de fábrica, levando em conta restrições e preferências dos operadores e as condições econômicas da empresa.

#### **4.1.1. Observação e análise no chão de fábrica e coleta de dados**

Após observar preliminarmente o processo, uma observação mais detalhada foi feita no chão de fábrica. Para orientar a observação, um questionário foi elaborado, de forma a estruturar e consolidar as informações obtidas, buscando seguir a metodologia descrita em 3.1.3. A análise do chão de fábrica foi, portanto, realizada através da observação e tomada de fotografias, bem como coleta de alguns dados e depoimentos dos operadores e com o responsável pela linha de produção. Tais atividades eram guiadas pelas questões levantadas em um questionário (Apêndice A), que visavam, de fato, lembrar o estagiário dos pontos principais a serem observados, fotografados e questionados.

Os temas do questionário visaram obter informações qualitativas e quantitativas. Essas últimas eram de mais difícil obtenção, tendo em vista que os processos ainda não são formalizados nem padronizados.

Dessa forma, após comunicar aos operadores o intuito do trabalho e das observações, bem como obter sua autorização para efetuá-los, buscou-se observar as operações realizadas em cada posto, as atividades que as precedem e as sucedem, bem como o deslocamento do operador durante as operações, de forma a trabalhar sobre toda uma peça.

Depoimentos de cinco operadores também foram coletados antes e/ou após a realização das operações, de forma a descrevê-la melhor, bem como apontar e discutir os principais problemas. Buscou-se certa informalidade no processo, de forma a deixá-los mais à vontade.

Além disso, foi possível visualizar o efeito da presença dos aspiradores na realização das operações. Primeiramente, percebe-se que a aspiração é intrínseca à realização das operações de desbaste, ou seja, deverá estar necessariamente presente quando essas operações ocorrerem, pois sem a aspiração da matéria liberada, uma quantidade importante de matéria particulada estaria em suspensão, sendo nociva se migrar em grande quantidade aos pulmões. Além disso, nota-se presença de ruído decorrente da proximidade dos aspiradores dos operadores, e tal efeito é potencializado com a presença de outros aspiradores em funcionamento em outros postos de trabalho ou mesmo no próprio posto.

A compilação dos dados obtidos permitiu traçar um perfil de utilização da aspiração nas diferentes etapas.

4.1.1.1. Postos de trabalho onde ocorre aspiração

Os postos de trabalho onde ocorre aspiração são os postos 2, 3 e 6.

Posto 2 - EC-135 Shells Equipment

Nesse posto, as “half shells” de cada KIT são desbastadas de forma a retirar um superdimensionamento das peças recebidas. Todo o perímetro de cada peça é desbastado. As operações são realizadas por dois operadores em geral, e a distância da mangueira à ferramenta de trabalho é ajustada visualmente. A atividade é intrínseca ao posto, ou seja, ocorre sistematicamente no posto.



Figura 20 – Desbaste no posto 2 – Fonte: Tomada pelo autor

Todo o comprimento de uma peça pode ser desbastado, criando assim um perímetro de cerca de 3,5m. A retirada da superdimensionamento pode chegar a 6 mm sobre todas as bordas de uma peça. O esquema mostra as dimensões de uma peça instalada em um módulo de transporte. Estimações da quantidade de matéria retirada e aspirada também foram feitas.

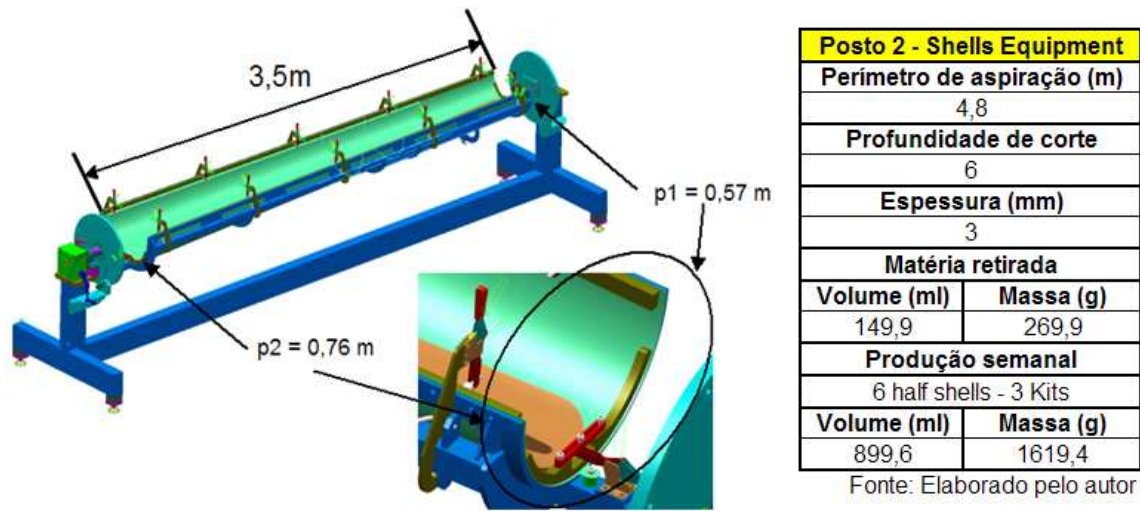


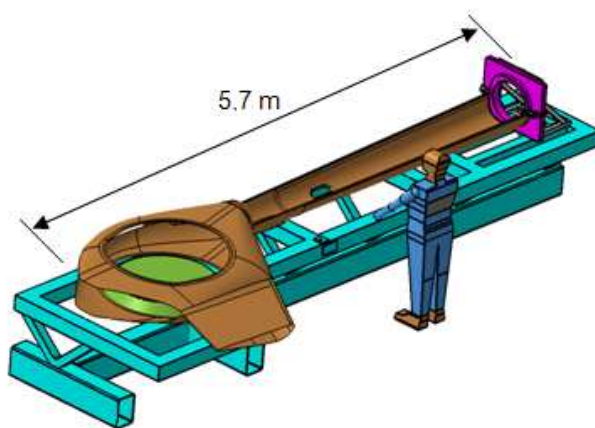
Figura 21 – Perímetro aspirado e matéria retirada no posto 2 – Fonte: Elaborado pelo autor.

### **Posto 3 - EC-135 – Assembly over platform**

Nesse posto, a operação predominante que exige aspiração é a furação para rebiteagem das “*half shells*”, bem como para a fixação do *fenestron*, que abriga o rotor (ver figura 14). As “*half shells*” se acoplam de forma que os furos são guiados por um lado já perfurado, como um gabarito. As operações podem ser realizadas por duas ou por uma pessoa, através da utilização de um imã para posicionar a mangueira. A atividade é intrínseca ao posto.



Figura 22 – Furação no posto 3 – Fonte: Tomadas pelo autor.



Posto 3 - Assembly over platform	
Perímetro de aspiração (m)	
8,0	
Número de perfurações	
cerca de 450 de $\Phi$ 3 mm em média	
Espessura (mm)	
3	
Matéria retirada	
Volume (ml)	Massa (g)
9,7	17,5
Produção semanal	
3 kits	
Volume (ml)	Massa (g)
29,1	52,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 – Perímetro aspirado e matéria retirada no posto 3 – Fonte: Elaborado pelo autor

### **Posto 6 - EC-135 – Final Equipment**

Peças acopladas à cauda, fixadas na estrutura principal, necessitam ajustes esporádicos por desbaste para um bom acoplamento, implicando, logo, uma atividade de aspiração. Em geral, os operadores levam essas peças aos postos 2 ou 3 onde os aspiradores se encontram normalmente. A atividade de aspiração não é intrínseca ao posto.

#### 4.1.1.2. Equipamentos de aspiração utilizados atualmente

A aspiração é efetuada com a utilização de aspiradores portáteis de emprego geral, capazes de aspirar poeira e água. Sua utilização é feita com o deslocamento dos aparelhos aos locais onde são necessários na linha de montagem.



Equipamento Utilizado	
Quantidade	3
Modelo	Mirage 1640P
Marca	IP Cleaning
Voltagem	220-240V – 50Hz
Potência	3x1110W
Vazão (m3/h)	510
Depressão (Kpa)	21,6
Emissão sonora dB(A)	72
Dimensões C x L x A (cm)	59 x 60 x 98
Capacidade depósito (l)	78
Mangueira (m)	2,5
Filtro	Polyester
Peso vazio (kg)	28

Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 24 – Especificações do equipamento utilizado atualmente**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de manual do fabricante

Na maior parte do tempo, eles estão nos postos 2 e 3, sendo esporadicamente deslocados ao posto 6. Nesse posto, normalmente as peças são deslocadas, e não o aspirador.

A manutenção dos equipamentos é feita por uma empresa terceirizada. Trata-se da limpeza dos filtros por jatos de ar comprimido. Esse procedimento é realizado duas vezes por semana, todas as terças e sextas-feiras.

Eventualmente, o aspirador utilizado na linha de montagem das caudas do Tigre é utilizado pelos operadores da linha do EC-135. Todavia, trata-se do último recurso utilizado, mesmo o equipamento possuindo uma potência superior. De fato, o equipamento é mais pesado, dificultando assim seu deslocamento.



**Figura 25 – Aspirador em uso na linha**

Fonte: Tomada pelo autor



#### **4.1.1.3. Ferramentas de trabalho utilizadas**

Diversas ferramentas são empregadas nas operações para retirar o superdimensionamento das peças, para preparar as cavidades para a rebitagem e para a realização de pequenos ajustes.

##### **Posto 2 - EC-135 Shells Equipment**

No posto 2, ferramentas pneumáticas são empregadas, com discos de corte finos em diamante de 65 mm e abrasivos aplicados (tecido abrasivo) em forma de rolos, com diâmetros compreendidos entre 20 e 65 mm.



**Figura 26 – Discos de corte e lixadeiras dos postos 2 e 6 – Fonte: Tomadas pelo autor**

##### **Posto 3 - EC-135 – Assembly over platform**

No posto 3, uma variedade de furadeiras pneumáticas é utilizada, com brocas compreendidas entre 2,15 e 4,15 mm.



**Figura 27 – Furadeiras no posto 3 - Fonte: Tomadas pelo autor**

##### **Posto 6 - EC-135 – Final Equipment**

No posto 6, lixadeiras com rolos abrasivos similares aos usados no posto 2 são utilizadas nas eventuais operações de retoque de peças.

#### **4.1.2. Diagnóstico preliminar**

A observação do processo permitiu traçar um perfil de utilização nas operações realizadas na linha de montagem, bem como visualizar os principais problemas existentes na preparação, realização e término do processo de aspiração. Além disso, algumas hipóteses foram formuladas em relação às necessidades dos postos de trabalho.

##### **Posto 2 - EC-135 Shells Equipment**

- As atividades de aspiração são predominantes no posto 2, onde a geração de pó é a mais significativa. De fato, as operações de desbaste retiram uma grande quantidade de matéria, e tal fato, associado à alta rotação das ferramentas utilizadas, formam um sistema que difunde o pó em alta velocidade.
- O tempo de utilização da aspiração do posto 2 varia entre 4 e 6 horas por dia, segundo depoimentos dos operadores e as observações feitas.
- Dada a demanda atual, o posto necessitaria pelo menos de um equipamento exclusivo.

##### **Posto 3 - EC-135 – Assembly over platform**

- A geração de pó é menos significativa nesse posto, dado os raios menores das ferramentas utilizadas e a própria natureza da operação de furação.
- O tempo de utilização da aspiração do posto 2 varia entre 1 e 2 horas por dia por plataforma de montagem (JIG), segundo depoimentos dos operadores e as observações feitas.
- Dada a demanda e tempos de espera atuais, o posto poderia contar com um equipamento exclusivo.

##### **Posto 6 - EC-135 – Final Equipment**

- A geração de pó é insignificante se comparada à existente nos postos 2 e 3, tendo em vista que a frequência de utilização da aspiração nesse posto é muito baixa.
- O tempo de utilização da aspiração do posto 2 varia entre 1 e 2 horas por semana, segundo depoimentos dos observadores.
- A disponibilização de um equipamento exclusivo para esse posto seria uma medida de melhoria da comodidade, de modo a evitar o deslocamento aos postos 2 e 3, e não uma necessidade real.

#### 4.1.3. Os problemas encontrados

A observação das operações realizadas e os depoimentos dos operadores permitiram a constatação de problemas diversos:

- Espera para utilização dos aspiradores: Esse problema acontece principalmente no posto 3 , que divide os aspiradores com o posto 2, onde a utilização é intensiva.
- Descontinuidade da vazão de aspiração durante a operação.
- Durante a realização da operação de aspiração, o rendimento do tempo de trabalho é reduzido pelos seguintes problemas:
  - o Necessidade de deslocar o equipamento, devido ao comprimento insuficiente da mangueira.
  - o Necessidade de interromper a operação devido à descontinuidade da vazão de aspiração.
- Ajuste contínuo da distância entre a boca da mangueira e a ferramenta de trabalho. De fato, o ajuste manual dessa distância pode criar uma situação onde o pó não aspirado atinja níveis nocivos ao operador, principalmente em operações mais longas onde há diminuição da concentração. O posicionamento da mangueira em relação à ferramenta de trabalho é feito da maneira seguinte:
  - o Posto 2
    - Operação de lixado : O operador segura a ferramenta com uma mão e a mangueira com a outra.
    - Operação de corte : Um operador efetua a operação e outro posiciona a mangueira (figura 20)
  - o Posto 3 : O posicionamento da mangueira pode ser feito manualmente, por um ou dois operadores, ou com a ajuda de um imã enganchado à mangueira e atraído à plataforma de montagem (figura 22).
  - o Posto 6 : O operador segura a ferramenta com uma mão e a mangueira com a outra.
- Tropeços na mangueira: Esse problema é constatado principalmente no posto 2, onde há uma necessidade de deslocar o aspirador para cobrir todo o perímetro de uma peça em uma operação longa. Os operadores podem tropeçar, pois a mangueira se situa no nível do chão. A situação é agravada pela falta de espaço e o fluxo constante de “*half shells*” nos módulos de transporte.

## **4.2. Melhorias incrementais**

### **4.2.1. A aplicação do FMEA**

A observação e análise do processo, orientadas pelo questionário (Apêndice A), visavam adquirir informações e dados, de forma a traçar o perfil de utilização e detectar os problemas, fornecendo, portanto, os elementos necessários à análise e à proposição de melhorias. Essas proposições podem ser implementadas em curtíssimo prazo, na espera por um sistema mais adequado às necessidades da linha de montagem.

Nesse contexto, a idéia é propor soluções capazes de diminuir os modos de falha, de maneira a tornar o processo mais eficiente e mais confortável para os operadores. Assim, para estruturar a análise, o método FMEA foi utilizado para analisar o processo e os seus recursos, com a participação dos operadores, fornecedor dos equipamentos e o supervisor da produção.

O FMEA para processos é desdobrado através da análise de fases, operações e atividades do processo. A aplicação ideal do método é feita na fase de concepção. Infelizmente, um estudo preliminar do processo não foi feito, provavelmente por tratar-se de um processo auxiliar, ou seja, um “apêndice” do processo produtivo propriamente dito. Contudo, as conseqüências positivas de se ter um sistema de aspiração pertinente são significativas no processo produtivo, um tema que será mais aprofundado posteriormente.

O FMEA de equipamentos é desdobrado através da análise dos subsistemas e componentes do equipamento utilizado. A análise dos equipamentos é mais facilmente perceptível, pois a decomposição deste é mais tangível. A lógica da realização dos dois métodos é a suposição de dois cenários, como sugerido por Bouer (2005):

- Cenário 1 : Os equipamentos utilizados são adequados, mas o processo não.
- Cenário 2 : O processo realizado é adequado, mas os equipamentos não.

#### **4.2.1.1. A escala de avaliação**

Após definir o objeto de análise, ou seja, a fronteira sobre a qual o FMEA será realizado, tanto no processo quanto no equipamento, procedeu-se à identificação sistemática de modos de falha, com suas causas, efeitos, e modos de detecção. Para cada um desses três aspectos, uma ponderação é feita, com uma escala. As ponderações são as seguintes:



Tabela 4 – Escala do Índice de Gravidade - Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Bouer (2005)

Gravidade	Critério	Índice
Muito perigoso	Risco de acidente grave	10
Perigoso	Segurança do operador comprometida	9
Muito alta	Perda de função primária	8
Alta	Em funcionamento, mas com fraco desempenho	7
Moderada	Em funcionamento, mas instável	6
Baixa	Em funcionamento, mas com desempenho somente tolerável	5
Muito baixa	Em funcionamento, mas com inconvenientes esporádicos	4
Mínima		3
Insignificante	Em funcionamento, com raros inconvenientes	2
Nenhuma	Em funcionamento normal	1

Tabela 5 – Escala do Índice de Frequência - Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Bouer (2005)

Frequência	Critério	Índice
Persistente	Falha sistemática	10
Muito freqüente	Falha diária	9
		8
Freqüente	Falha semanal	7
		6
Ocasional	Falha mensal	5
		4
Rara	Falha anual	3
		2
Muito rara	máximo de uma falha anual	1

Tabela 6 – Escala do Índice de Detecção - Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Bouer (2005)

Detecção	Critério	Índice
Totalmente incerta	Certeza de não detecção	10
Muito remota	Os mecanismos de controle provavelmente não detectam a causa	9
Remota	Os controles têm chances remotas de detectar a causa	8
Muito baixa	Os controles têm poucas chances de detectar a causa	7
Baixa	Os controles podem detectar a causa	6
Moderada	Os controles têm boas chances de detectar a causa	5
Moderadamente alta	Os controles têm chances elevadas de detectar a causa	4
Alta	Os controles têm muitas chances de detectar a causa	3
Muito Alta	Os controles quase certamente detectam a causa	2
Praticamente certa	Os controles certamente detectam a causa	1

- Para medir o efeito, tem-se o Índice de Gravidade.
- Para medir a frequência ou probabilidade de um modo de falha, ou seja, a causa, tem-se o Índice de Frequência.
- Para medir a probabilidade de não detecção, tem-se o Índice de Detecção.

Os valores das escalas foram baseados em Bouer (2005), adaptando-os ao contexto da linha, ou seja, com as capacidades em medir e distinguir os modos de falha levando-se em conta os dados disponíveis. Em alguns casos, foi necessário agrupar índices em um mesmo critério, o que é recomendado quando a distinção torna-se muito complexa. Tais agrupamentos visaram refletir ao máximo as escalas adotadas à realidade.

Com os valores obtidos na avaliação, com participação direta e indireta do pessoal envolvido, obtém-se o IPR, Índice de Prioridade de Risco. Tal índice permite visualizar quais são os modos de falha mais críticos, com a concentração de esforços na elaboração de planos de ação capazes de diminuir os valores do IPR, agindo principalmente na causa e/ou forma de detecção do problema. Os IPRs são recalculados após a proposição de melhorias. No caso, visto que os planos não foram implementados ainda, tal cálculo foi feito em forma de previsão.

#### 4.2.1.2. Pessoal envolvido

Para a realização da análise FMEA, deve-se ter uma equipe de trabalho, de modo a mapear os modos de falha, quantificá-los e propor medidas corretivas e/ou preventivas de melhoria. Assim, utilizaram-se informações e conhecimentos dos seguintes atores:

- **O próprio estagiário** : Responsável pela condução e animação do método, com uma visão imparcial. Ele estudou o método de trabalho, bem como os equipamentos utilizados, de forma a organizar e consolidar as informações. Seu contato com toda a equipe permitiu estruturar e também colaborar na elaboração de planos de ação.
- **Os operadores** : Seus depoimentos foram muito importantes para apontar e quantificar diversos modos de falha, bem como para contribuir na elaboração de planos de ação.
- **Especialista em aspiração**: Um representante do fornecedor dos equipamentos atuais realizou uma visita de observação da utilização dos equipamentos na realização do processo de aspiração. Seus comentários foram importantes para detectar modos de

falha outrora desconhecidos ou ocultos, bem como para propor melhorias no que diz respeito à utilização dos equipamentos e à realização das operações. Ele possui um conhecimento significativo de diferentes usos de sistemas de aspiração, em diversos setores da indústria e de serviços.

- **Responsável pela produção:** Sua contribuição foi importante para a obtenção de algumas estimativas de tempo de execução de operações, e também para dar uma visão sistêmica da linha, com a influência dos postos de trabalho uns sobre os outros e dos módulos de transporte na gestão dos fluxos.

Infelizmente, devido a restrições de tempo e disponibilidade dos participantes, uma reunião global, prevista na execução do método FMEA, não foi possível. Tal fato aumentou o peso do papel do estagiário de condutor do método e compilador de informações.

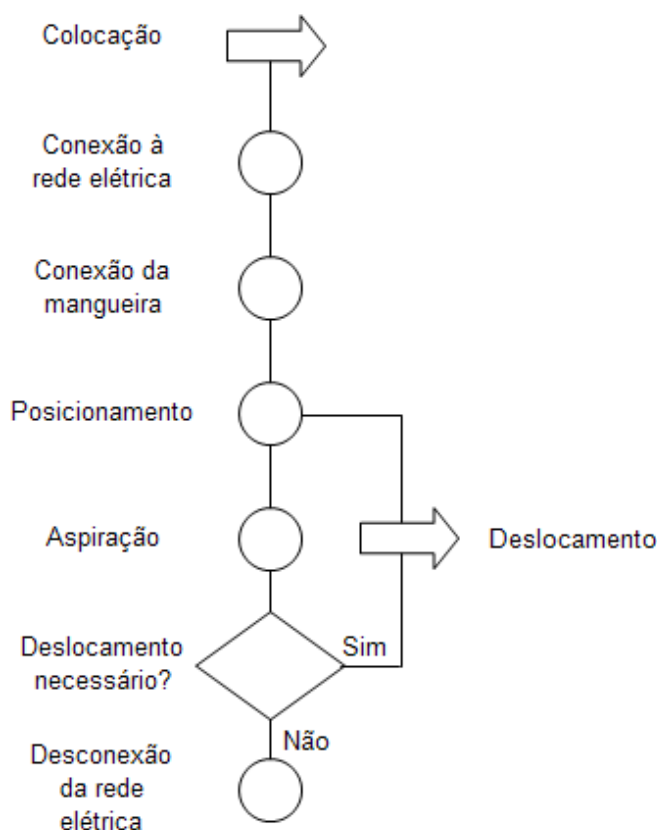
Dessa forma, o estagiário buscou mapear os modos de falha de acordo com os depoimentos dos operadores e com as constatações do fornecedor de equipamentos. Além disso, o responsável pela produção buscou apontar problemas ligados à gestão do fluxo causados pelo uso dos aspiradores. Após reformular e estruturar os modos de falha, o estagiário apresentou a tabela FMEA e os valores dos índices aos membros da equipe, de forma a discutir que eles pudessem validar os modos de falha apontados, bem como atribuir valores a cada índice.

Assim, conforme as informações eram consolidadas, encontros esporádicos eram realizados com membros da equipe para informá-los da evolução do trabalho, pessoalmente ou com o uso de correio eletrônico.

Quando os modos de falha foram levantados, realizou-se um trabalho importante de conhecimento do próprio processo de aspiração na linha. De fato, esse jamais havia sido decomposto e analisado, o que foi feito no FMEA de processo. Assim, nesse caso especificamente, além da análise dos modos de falha, obteve-se como subproduto uma análise do processo de aspiração, importante no esforço de formalização e padronização de processos no contexto atual de implementação das instalações e operações da fábrica de Albacete.

#### 4.2.1.3. O FMEA de processo

O processo de aspiração e suas diferentes variantes na linha de produção constituíram o objeto de estudo. Ele compreende todas as etapas do processo, e cada etapa contribui para a realização de uma função, a qual atende a uma necessidade do processo.



**Figura 28 – Diagrama do processo – Fonte: Elaborado pelo autor**

As observações do processo e o depoimento dos operadores permitiram determinar as etapas do processo, visualizadas em forma fluxograma.

Cada etapa é responsável por uma função, que deve atender a algumas especificações. Contudo, como o processo não é formalizado, as especificações não foram previamente estabelecidas. Assim, uma definição destas foi formulada a partir das observações, dos anseios dos operadores e da pesquisa de instruções de fabricação existentes em outras fábricas da empresa, notadamente em Marignane<sup>6</sup>, onde um processo similar é realizado.

<sup>6</sup> IF-MA– Instrução de Fabricação de Marignane.

A etapa de deslocamento é realizada quando há uma necessidade de aspirar um perímetro que implique deslocar o aspirador, para que a mangueira atinja o ponto de aspiração desejado.

**Tabela 7- Funções e especificações das etapas do processo**

**Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Bouer (2005)**

<b>Etapa</b>	<b>Função</b>	<b>Especificações</b>
Colocação	Posicionar o aspirador	Aspirador posicionado de forma a não obstruir o movimento dos operadores.
Conexão à rede elétrica	Fornecer energia	220V 50 Hz e Ignição.
Conexão da mangueira	Transportar matéria retirada	Acoplagem sem vazamentos, segundo orientação do fabricante.
Posicionamento	Posicionar a entrada da mangueira	Posicionamento da mangueira de forma a aspirar a matéria o mais próximo possível da ferramenta. <sup>7</sup>
Aspiração	Aspirar a matéria	Fração inalável da matéria restante < 10 mg/m <sup>3</sup> . <sup>8</sup>
Deslocamento	Descolar o aspirador	Deslocamento do aspirador de forma a garantir as especificações da etapa "Posicionamento".
Desconexão da rede elétrica	Parar o funcionamento	Aspirador em estado de não funcionamento.

Com as etapas e funções definidas, procedeu-se à realização sistemática da análise dos modos de falha, com a consolidação de diversas informações obtidas nos depoimentos dos operadores, do especialista em aspiração, do responsável da produção e do próprio estagiário.

<sup>7</sup> Recomendações retiradas das seguintes instruções :

- IF-MA N° 546 IND : B – Operações em materiais compostos  
- IF-MA N° 553 – Montagem de estruturas compostas coladas

<sup>8</sup> Valor limite ambiental estabelecido pela INSHT (*Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*) e avaliado na fábrica pela empresa GRUPO 17, com a geração de um relatório.

**Tabela 8- FMEA do Processo de aspiração – Fonte: Elaborado pelo Autor**

Etapa	Função	Especificações	Modo de Falha	Efeito	Gravidade	Causa	Frequência	Controles atuais	Deteção	IPR	Ações recomendadas	Gravidade	Frequência	Deteção	IPR
Colocação	Posicionar o aspirador	Aspirador posicionado de forma a não obstruir o movimento dos operadores.	Aspirador mal posicionado	Perturbação das operações e fluxos	5	Má organização do processo	5	Inspeção visual	2	<b>50</b>	Estudo de local ótimo de posicionamento do aspirador	5	1	2	<b>10</b>
Conexão à rede elétrica	Fornecer energia	220V 50 Hz e Ignição.	Curto circuito	Acidente de trabalho	10	Danificação involuntária do cabo de alimentação	1	Inspeções e manutenção preventiva	2	20	Verificação sistemática	10	1	1	10
				Danificação do equipamento	7					14		7			7
Conexão da mangueira	Transportar matéria retirada	Acoplagem sem vazamentos, segundo orientação do fabricante.	Mangueira mal acoplada	Perda de eficiência	4	Tração excessiva da mangueira	2	Controle auditivo "clic"	1	8	Evitar tração excessiva e efetuar inspeções regularmente	4	1	1	4
Posicionamento	Posicionar a entrada da mangueira	Posicionamento da mangueira de forma a aspirar a matéria o mais próximo possível da ferramenta.	Obstrução da realização da operação	Operação ineficiente	6	Entrada da mangueira mal posicionada	4	Controle visual contínuo	3	<b>72</b>	Estudo da posição ótima da entrada da mangueira em relação às ferramentas	6	3	2	<b>36</b>
Aspiração	Aspirar a matéria	Fração inalável da matéria restante < 10 mg/m3.	Aspiração insuficiente	Matéria não aspirada excessiva	8	Dificuldade de manter posição constante	5	Controle manual contínuo	2	<b>80</b>	Trabalho constante por dois operadores	8	3	2	<b>48</b>
Deslocamento	Descolar o aspirador	Deslocamento do aspirador de forma a garantir as especificações da etapa "Posicionamento".	Tropeço do operador	Acidente de trabalho	9	Obstrução da movimentação pelos cabos e/ou mangueiras	4	Visual	4	<b>144</b>	Reposicionamento dos elementos presentes no processo de forma a eliminar ou reduzir a necessidade de realizar essa etapa.	9	2	2	<b>36</b>
			Obstrução do deslocamento do equipamento	Danificação do equipamento	7	O aspirador passa por cima dos cabos e/ou mangueiras	3	Visual	4	<b>84</b>		7	2	2	<b>28</b>
Desconexão da rede elétrica	Parar o funcionamento	Aspirador em estado de não funcionamento.	Curto circuito	Acidente de trabalho	10	Danificação involuntária do cabo de alimentação	1	Inspeções e manutenção preventiva	2	20	Verificação sistemática	10	1	1	20
				Danificação do equipamento	7					14		7			14

Os modos de falha encontrados mostram que a configuração física dos processos, no que diz respeito ao posicionamento dos elementos utilizados em sua realização (aspirador, mangueira, operador, peça de trabalho) é o principal problema. De fato, os modos de falha mais críticos estão relacionados ao tema. Tal problema é mais crítico no posto 2, pois a duração das operações é maior.

Assim, as melhorias devem visar a uma configuração mais adequada às necessidades do processo, de forma a torná-lo mais produtivo e ergonômico, tendo como restrição o espaço disponível na linha como um todo e em cada posto de trabalho.

A etapa de “deslocamento” no processo deve ser evitada ou eliminada se possível, pois ela cria problemas operacionais e ergonômicos. A análise do equipamento existente contribuirá no fornecimento de elementos para a proposição de soluções que melhorem a utilização do equipamento existente e a execução do processo.

#### 4.2.1.4. O FMEA de equipamento

Nessa análise, o aspirador e seus subsistemas principais constituem o objeto de análise. Com o objetivo de aspirar o pó, os subsistemas funcionam concomitantemente, podendo responder a mais de uma função.

As especificações de cada subsistema foram determinadas pelo fabricante. Tais especificações não são necessariamente as mesmas que o processo exige. Tal fato ilustra, efetivamente, que o equipamento atual não foi concebido para esse tipo de operação.

Os subsistemas do aspirador têm diferentes tipos de relações, visualizadas em forma de um diagrama de blocos.

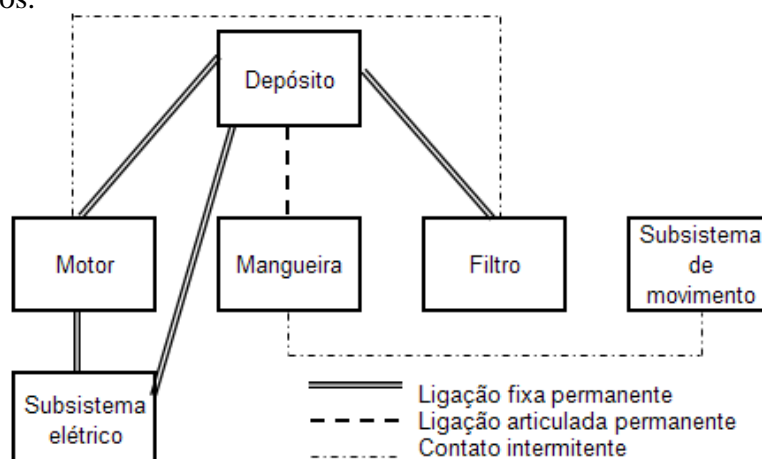


Figura 29 – Diagrama de blocos do aspirador – Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Pesnel (2005)

Buscou-se então descrever as funções executadas durante o funcionamento do aspirador, possuindo as seguintes especificações:

**Tabela 9 – Funções e especificações do aspirador – Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Pesnel (2005)**

Funções	Número	Especificações
Estar posicionado	F1	raio de 2,5m
Fornecer potência	F2	entre 1100 e 3300W
Fornecer vazão	F3	máximo de 510 m <sup>3</sup> /h
Aspirar a matéria	F4	$\geq 90\%$
Transportar a matéria	F5	2,5m
Filtrar a matéria	F6	99%
Prover estrutura	F7	59 x 60 x 98 cm

As relações entre as funções e os subsistemas são mostradas através de uma tabela de análise funcional.

**Tabela 10 – Tabela de análise funcional dos subsistemas do aspirador**

**Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Pesnel (2005)**

Função/Subsistema	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Depósito					x		x
Motor		x	x	x			
Subsistema elétrico		x					
Mangueira			x	x	x		
Filtro				x		x	
Subsistema de movimento	x						

Tais relações foram fruto do cruzamento da estrutura física do equipamento com as funções que ele desempenha, relacionando quais subsistemas são engajados na realização de uma função.

Assim, cada cruzamento da tabela corresponde a um binômio a ser analisado sistematicamente pelo FMEA. A iniciativa de consolidação dos depoimentos dos membros da equipe foi novamente utilizada.



**Tabela 11 – FMEA do aspirador utilizado no processo de aspiração – Fonte: Elaborado pelo autor**

Componente	Função	Especificações	Modo de Falha	Efeito	Gravidade	Causa	Frequência	Controles atuais	Deteção	IPR	Ações recomendadas	Gravidade	Frequência	Deteção	IPR
Depósito	Transportar a matéria	2,5m	Acúmulo de matéria	Perda de eficácia de filtração	5	Não esvaziamento do depósito	1	Esvaziamento semanal	2	10	Acompanhamento pelo pessoal de Manutenção	5	1	2	10
	Prover estrutura	59 x 60 x 98 cm	Estrutura danificada	Integridade do equipamento comprometida	8	Utilização inadequada	1	Visual e auditivo	2	16	Seguir recomendações de utilização do fabricante	8	1	2	16
Motor	Fornecer potência	entre 1100 e 3300W	Falha do motor	Perda de potência	6	Desconexão do sistema elétrico	2	Auditivo	1	12	Seguir recomendações de utilização do fabricante	6	1	1	6
	Fornecer vazão	máximo de 510 m3/h	Obstrução da vazão	Destruição do motor	8	Má operação e/ou escolha do equipamento	3	Auditivo	4	<b>96</b>	Estudo do tipo de motor e limpeza regular	8	2	2	<b>32</b>
	Aspirar a matéria	>=90%	Diminuição da vazão	Perda de eficiência	6	Acúmulo de matéria não filtrada no motor	3	Auditivo	6	<b>108</b>	Estudo do tipo de motor e limpeza regular	6	2	2	<b>24</b>
Subsistema elétrico	Fornecer potência	entre 1100 e 3300W	Curto circuito	Equipamento inutilizado	9	Falta de proteção do cabeamento elétrico	1	Visual e auditivo	3	27	Inspecções regulares	9	1	1	9
Mangueira	Fornecer vazão	máximo de 510 m3/h	Mangueira excessivamente longa	Dificuldade para atingir a zona a ser aspirada	5	Má escolha do equipamento	10	Visual e auditivo	2	<b>100</b>	Estudos das necessidades de utilização	5	4	2	<b>40</b>
			Mangueira excessivamente curta	Perda de carga	5	Má escolha do equipamento	5	Auditivo	5	<b>125</b>	Estudos das necessidades de utilização	5	4	2	<b>40</b>
				Tropeços	9	Má escolha do equipamento	3	Visual	5	<b>135</b>	Estudos das necessidades de utilização e ações de melhoria ergonômica	9	2	2	<b>36</b>
	Aspirar a matéria	>=90%	Aspiração insuficiente	Matéria não aspirada liberada no ar	8	Má escolha do equipamento	6	Visual	4	<b>192</b>	Verificação da conformidade do equipamento e possibilidade de troca	8	1	2	<b>16</b>
	Transportar a matéria	2,5m	Vazamento	Perda de capacidade de aspiração	7	Mangueira danificada	3	Visual	5	<b>105</b>	Inspecção na mangueira e constituição de estoque de segurança	7	2	2	<b>28</b>
Filtro	Aspirar a matéria	>=90%	Obstrução da vazão	Refluxo de ar	8	Filtros saturados	2	Visual	4	<b>64</b>	Manutenção regular e aquisição de filtros adicionais	8	1	2	<b>16</b>
	Filtrar a matéria	99%	Filtração ineficiente	Partículas nocivas não filtradas	9	Má escolha do equipamento	3	Inspecções Esporádicas	6	<b>162</b>	Estudos das necessidades de utilização	9	2	2	<b>36</b>
Subsistema de movimento	Estar posicionado	raio de 2,5m	Dificuldade de movimento	Perda de produtividade	4	Obstrução das rodas	6	Visual	2	<b>48</b>	Limpeza regular	4	3	2	<b>24</b>
						Má escolha do equipamento	8	Visual	2	<b>64</b>	Estudos das necessidades de utilização	4	2	2	<b>16</b>

Os modos de falha mais críticos mostram que uma atenção maior deve ser dada à mangueira e ao filtro, pois esses subsistemas e as etapas do processo nas quais eles participam ativamente possuem IPRs superiores a 70<sup>9</sup>.

A aparição constante da ação de recomendação de realização de um estudo das necessidades técnicas entre as ações recomendadas na tabela FMEA mostra que a máquina atual não é adequada. Esse tema será detalhado posteriormente.

Todavia, na espera por recursos para a implementação de uma solução mais adequada, algumas melhorias podem ser feitas na utilização do equipamento atual, bem como na execução das etapas do processo.

Assim, com as observações feitas, com a participação de membros da equipe e com toda a análise estruturada através da aplicação do FMEA, algumas propostas de melhoria em curtíssimo prazo, acompanhadas de planos de ação, foram formuladas.

Buscar-se-ão formar planos de ação que consigam, ao mesmo tempo, amenizar os modos de falha mais críticos, bem como serem compreensíveis e de implementação simplificada e de baixo custo. Uma estratégia seria a implementação de diversos planos de ação, relativos ao processo e ao equipamento, de forma a agir, também de modo sistemático, sobre cada modo de falha crítico.

Contudo, com o intuito de simplificar a operacionalização dos planos de ação, um esforço de agrupamento de modos de falha similares foi realizado, de forma a criar planos de ação capazes de responder à mais de um modo de falha. Desse modo, a iniciativa de desdobrar o problema em equipamento e processo, outrora importante para analisar de forma mais exaustiva o problema, terá seguimento com um reagrupamento, de forma a levar em conta ambos os aspectos simultaneamente.

Os planos de ação formulados, mas uma vez, foram frutos das conversas e depoimentos dos participantes da equipe FMEA, e criou-se uma ficha de plano de ação que poderá ser atualizada ou refeita (tabela 12).

---

<sup>9</sup> Nota do autor : Os resultados da análise FMEA mostram uma forte concentração de problemas na mangueira e no filtro, bem como nas etapas de posicionamento da mangueira e no deslocamento do aspirador. O limite de IPR adotado, ou seja, o risco aceitável, dado a distribuição dos valores obtidos, foi de 50. Existe também atenção especial aos modos de falha com índice de gravidade elevado, com valores de 9 e 10.

#### **4.2.2. As melhorias com o equipamento atual**

As propostas de melhoria visam atacar os pontos mais críticos detectados pela análise FMEA. Trata-se de idéias simples, de implementação quase imediata, e com um custo nulo ou muito baixo, visando principalmente atacar a causa dos modos de falha. No que diz respeito à detecção, o estabelecimento de um novo plano de ação permite a obtenção de uma “lista de verificação”, o que torna os controles visuais mais eficazes, com a criação de um procedimento descrito que acaba funcionando como um manual.

##### **Reconfiguração da utilização dos aspiradores no posto 2, trabalhando com uma mangueira mais comprida**

O fato de descolar o aspirador e reposicionar a mangueira toda vez que esta é estirada ao máximo de seu comprimento contribuiu para a proposta de adotar uma mangueira mais comprida. Contudo, a adoção de tal procedimento isoladamente pode gerar problemas ligados à perda de carga por atrito, bem como um risco mais elevado de tropeços.

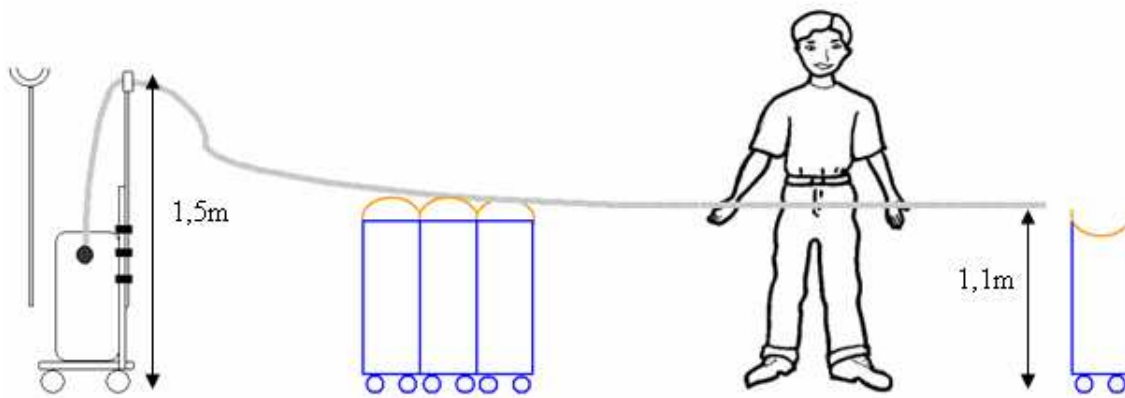
No que diz respeito à perda de carga, segundo o fornecedor do equipamento<sup>10</sup>, um aumento do comprimento da mangueira de dois ou três metros não implicaria perdas significativas, sob a condição de que esta permaneça o mais retilínea possível. De fato, um equipamento equivalente, vendido na França, de outra marca do mesmo fornecedor, mas tecnicamente idêntico, é vendido com uma mangueira de oito metros<sup>11</sup>.

Para evitar a formação de curvas desnecessárias sobre a mangueira, bem como para garantir uma altura mínima da mesma de forma a evitar tropeços, uma antena poderia ser acoplada à estrutura do aspirador, e para sustentar a mangueira na altura adequada, as “*half shells*” não utilizadas no momento da operação no posto 2 poderiam ser empregadas, com a configuração sugerida no esquema seguinte, de maneira a não danificar nem as peças nem a mangueira.

---

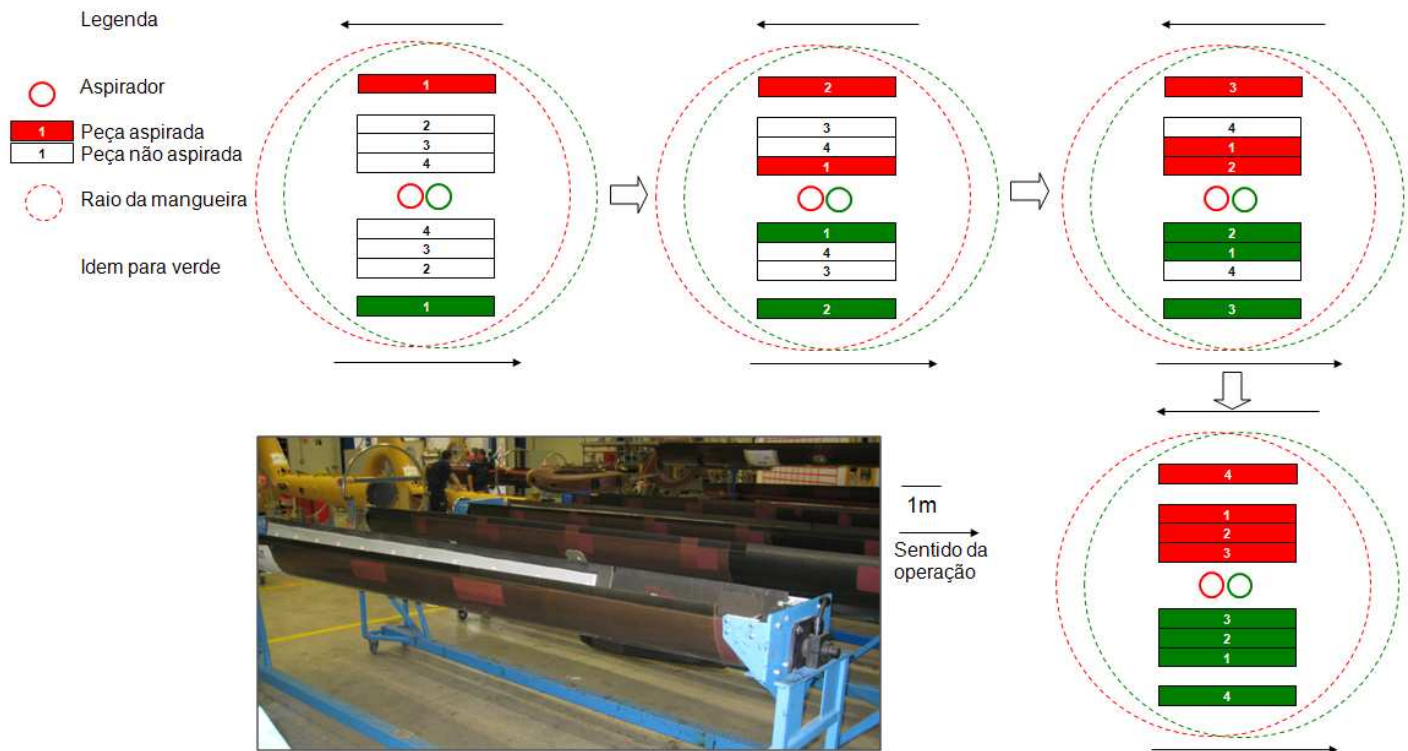
<sup>10</sup> No dia 29/07/2008, um representante da marca de aspirador IPCleaning, fornecedor do aspirador utilizado atualmente na linha de montagem das caudas do EC-135, realizou uma visita à fábrica para observar o processo, de forma a auxiliar na realização do FMEA.

<sup>11</sup> Modelo IPC KOALA 440 BHP.



**Figura 30 – Esquema sem escala da configuração do posto 2 – Fonte: Elaborado pelo autor**

O esquema seguinte mostra como o posto 2 poderia operar com dois aspiradores da forma sugerida. Ele mostra uma sequência de quatro operações, e como o fluxo das peças seria controlado. As peças aspiradas por cada aspirador (circunferências pequenas) são representadas pela cor dos mesmos e identificadas por números, para que se perceba a evolução da posição das peças no tempo (são deslocadas para perto do aspirador, de modo a aspirar a trabalhar na peça seguinte.), ora sendo desbastadas e aspiradas, ora servindo de suporte e as circunferências grandes representam o alcance uma mangueira de seis metros com raio efetivo de quatro metros, capaz de cobrir todo o perímetro necessário. O esquema está em escala.



**Figura 31 – Esquema da configuração do posto 2 e do fluxo de peças – Fonte: Elaborado pelo autor**

Esse procedimento poderia ser adotado para as operações de lixado e corte, realizadas por uma e duas pessoas, respectivamente.

Em relação aos custos, as antenas poderiam ser confeccionadas pelo serviço de Manutenção Geral, a um custo estimado de 10 euros por peça. Uma mangueira de oito metros custa cerca de 30 euros em um distribuidor autorizado. Assim, para dois aspiradores, ter-se-ia um custo de 80 euros.

Uma vez que tudo esteja pronto, os próprios operadores estimam um período de adaptação e prática de cerca de uma semana.

Essa proposta elimina o deslocamento do aspirador durante o processo, o que diminui consideravelmente os problemas ligados ao reposicionamento da mangueira próxima à ferramenta e os riscos de tropeço.

Finalmente, o setup para a realização é feito rapidamente com o posicionamento dos aspiradores e das peças. Assim, quando operações que não exigem aspiração são realizadas, a configuração pode ser desfeita facilmente.

#### **Aquisição de filtros de poliéster suplementares, e utilização de dois motores de aspiração**

A filtração do aspirador utilizado atualmente na linha de montagem é feita somente através de uma etapa, o que não é recomendado para esse tipo de pó<sup>12</sup>, segundo o fornecedor dos equipamentos e as pesquisas feitas com aspiradores industriais. Assim, o filtro utilizado satura rapidamente, e mesmo as duas limpezas realizadas semanalmente não são suficientes para garantir uma operação eficiente e contínua. Dessa forma, a aquisição de um filtro suplementar, utilizado de forma alternada durante as limpezas, poderia melhorar a eficiência do processo.

Além disso, o aspirador atual trabalha com 3300 W divididos em três motores, fornecendo uma vazão total de 510 m<sup>3</sup>/h, maior que a vazão utilizada em aspiradores industriais portáteis empregador em operações que utilizam ferramentas de alta rotação. Assim, paradoxalmente, o excesso de velocidade prejudica o funcionamento no processo. De fato, como a operação é feita em somente uma etapa, grande parte das partículas entra em contato com o filtro, e como possuem grande velocidade, aderem a este com mais intensidade. Com a utilização de dois motores, obter-se-ia uma vazão de 340m<sup>3</sup>/h fornecida com 2200W, o que é suficiente para a realização das operações, segundo relatos do fornecedor e um comparativo de equipamentos

---

<sup>12</sup> A aspiração industrial de partículas geradas pela utilização de ferramentas abrasivas possui mecanismos de filtração em série, de modo a aumentar a vida útil do equipamento e diminuir a necessidade de manutenção.

que pode ser visto no apêndice B. Tal pratica aumentaria o tempo para a saturação do filtro, além de prover uma economia de energia de 33%.



**Figura 32 – Filtro e mangueira do equipamento atual – Fonte: IPCleaning (2007)**

Cada filtro possui um custo de 30 euros, e logo a aquisição de um filtro suplementar por aspirador implicaria um custo de 90 euros, mas permitindo mais produtividade e menos paradas por descontinuidade do fluxo, ou espera durante o período de manutenção. O prazo de implementação de tal proposta é imediato.

### **Criação de base de dados de histórico de falhas**

Uma tabela para registrar as falhas ocorridas seria importante para a proposição de novas melhorias, bem como para obter dados mais consistentes. Esse procedimento pode ser realizado pelo responsável da produção que possui mais conhecimento do processo, e já conduz um projeto de implementação de sistemas de gestão e acompanhamento da produção. A priori, trata-se de um histórico simples, que mostra o tipo de falha, duração, modo de correção e data e local de ocorrência. Isso permitiria a obtenção de um histórico de dados, útil para a realização de estudos e reaplicação do FMEA, que é, de fato, um processo dinâmico.

O custo de tal procedimento é virtualmente nulo, pois o tempo gasto no preenchimento da tabela é insignificante e ela pode ser apropriada nos estudos de criação de indicadores. e o preenchimento da tabela pode ser iniciado com a implementação das outras propostas de melhoria dos planos de ação.

Esses procedimentos foram citados em uma ficha de planos de ação que visa mostrar as relações entre os modos de falhas mais críticos, tanto no processo como no equipamento, e quais planos de ação visam resolvê-los ou minimizá-los.

#### 4.2.3. Possibilidade de adoção provisória de um equipamento industrial

Os planos de ação visam melhorar a execução do processo e a utilização do equipamento. Contudo, existem características intrínsecas do equipamento que causam problemas no processo, que não são passíveis de modificação:

**Filtração:** A filtração do modelo atual é feita somente em uma etapa, ao passo que equipamentos mais adequados trabalham com mecanismos de redução da velocidade do pó na entrada do depósito do aspirador, de forma a realizar uma etapa preliminar de decantação, e uma filtração posterior com o uso de um filtro HEPA. Além disso, a superfície de filtração é inferior a 1 m<sup>2</sup>, ao passo que equipamentos industriais possuem um mínimo de 1,5 m<sup>2</sup>, segundo a pesquisa realizada sobre equipamentos industriais e o equipamentos atual (ver apêndice B).

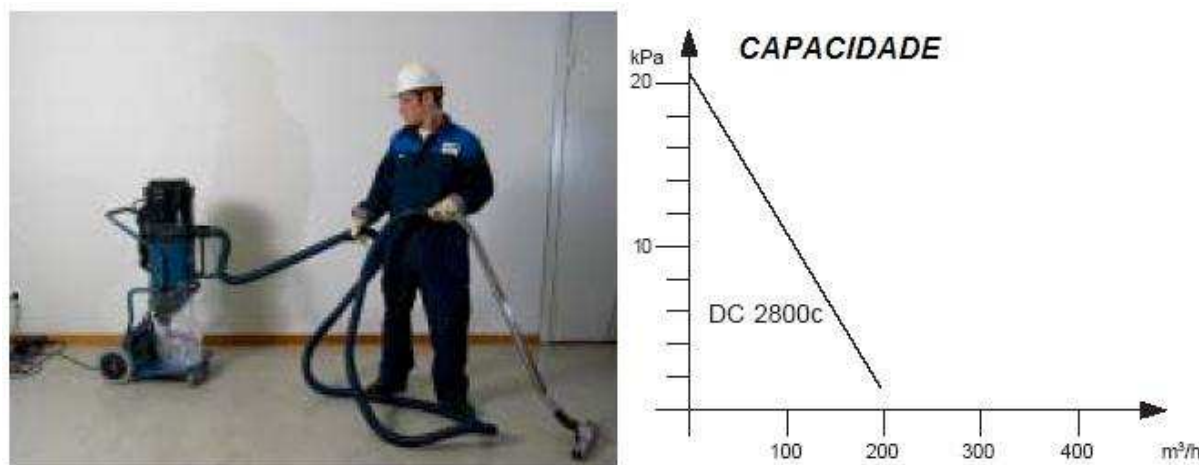
**Motor:** Os motores dos aspiradores concebidos para operações industriais não possuem escovas próximas aos rotores, como no modelo atual. Tal fato permite evitar um acúmulo excessivo de pó não filtrado.

Esses dois aspectos são fatores chave para garantir um funcionamento estável do aspirador, fornecendo uma vazão de aspiração constante.

No apêndice B, a comparação entre os modelos industriais e o modelo atual mostra que esse último é capaz de fornecer uma pressão negativa (depressão) similar e uma vazão maior, tendo também um diâmetro de mangueira similar. Todavia, como esse equipamento possui características que não o qualificam para esse tipo de operação, não é possível a obtenção de um trabalho adequado. Assim, um aspecto importante aparece, no que diz respeito à seleção de equipamentos: devem-se levar em conta as capacidades em relação à vazão e à depressão fornecidas (normalmente representadas sob forma de curva característica, similar à de bombas hidráulicas), mas também a capacidade do equipamento de manter tais características durante o funcionamento, ou seja, mecanismos de filtração que permitirão uma utilização mais prolongada e estável.

Apesar disso, no contexto da linha de montagem, os aspiradores industriais portáteis apresentariam os mesmos problemas em relação à gestão dos fluxos da fábrica e questões ergonômicas durante a realização das operações. Tal problema é específico à linha de montagem das caudas do modelo EC-135, mas não existe no resto das linhas, onde

aspiradores portáteis industriais são utilizados. Na linha de montagem final dos hangares B e D, aspiradores modelo BARIN 2800A, presente no comparativo do apêndice B, são utilizados com bastante eficiência e aceitação pelos operadores.



**Figura 33 – Aspirador Barin 2800A e sua curva característica – Fonte: Barin (2007 p. 3)**

A fase III da implementação das instalações de Albacete acarretará na compra de novos aspiradores industriais portáteis, com a expansão das linhas de montagem finais. Assim, a compra de novos exemplares BARIN poderia ser antecipada, de forma a utilizá-los provisoriamente na linha de montagem das caudas do EC-135. Uma vez que a expansão esteja finalizada, os aspiradores poderiam migrar para seu uso definitivo.


Tal medida permitiria a obtenção de um equipamento mais adequado que o atual sem a necessidade de gastos adicionais, e sim um adiantamento de gastos, permitindo uma melhoria na continuidade do processo de aspiração sem paradas ocasionadas por saturação dos filtros. A antecipação dessa compra, que seria realizada de toda maneira, implicaria um gasto de 3000 euros, com a antecipação da compra de dois exemplares.

Assim, a adoção de aspiradores similares aos encontrados nas linhas de montagem final viabilizaria um sistema que mesmo não sendo o ideal, é tecnicamente superior ao atual, em um prazo curto, na espera por recursos destinados a uma solução definitiva.

Esses procedimentos foram citados em uma ficha de planos de ação que visa mostrar as relações entre os modos de falhas mais críticos, tanto no processo como no equipamento, e quais planos de ação visam resolvê-los ou minimizá-los.



**Tabela 12 – Planos de ação – Fonte: Elaborado pelo autor**

		Autor	Data	Planos de Ação															
		Fernando de Moura Sanches	08/08/2008																
		Zona/ Linha	Produto																
		EC-135 Tail-boom	EC-135																
Data de Criação: 03/08/2008		Tema: Melhorias na aspiração nos processos da linha de montagem do EC-135 - Hangar E - Aeroestruturas								Data de revisão: 05/08/2008									
Etapa / Componente	Função	Especificações	Modo de falha	Efeitos	Gravidade	Causa	Frequência	Controles atuais	Deteção	IPR	Ações recomendadas	Plano de ação	Responsável	Prazo	Gravidade	Frequência	Deteção	IPR	
Motor	Fornecer vazão	máximo de 510 m3/h	Obstrução da vazão	Destruição do motor	8	Má operação e/ou escolha do equipamento	3	Auditivo	4	96	Estudo do tipo de motor e limpeza regular	Compra antecipada de equipamentos industriais portáteis destinados à FAL, com uso provisório na linha do EC-135.	Infra-estruturas	Não definido. Depende de decisão da Diretoria.	8	2	2	32	
	Aspirar a matéria	>=90%	Diminuição da vazão	Perda de eficiência	6	Acúmulo de matéria não filtrada no motor	3	Auditivo	6	108	Estudo do tipo de motor e limpeza regular				6	2	2	24	
Mangueira	Fornecer vazão	máximo de 510 m3/h	Mangueira excessivamente longa	Dificuldade para atingir a zona a ser aspirada	5	Má escolha do equipamento	10	Visual e auditivo	2	100	Estudos das necessidades de utilização	Plano de reconfiguração dos aspiradores no posto 2, de modo a eliminar o deslocamento do aspirador durante as operações, com a adoção de uma mangueira mais comprida, sustentada na altura da cintura por uma antena e pelas "half shells" em posição invertida. Realização de verificação periodica da mangueira e compra de mangueira de 20m, que pode ser cortada em diversos tamanhos a um custo linear mais baixo.	Responsável da produção	Setembro de 2008	5	4	2	40	
			Mangueira excessivamente curta	Perda de carga	5	Mas escolha do equipamento	5	Auditivo	5	125	Estudos das necessidades de utilização				5	4	2	40	
				Tropeços	9	Mas escolha do equipamento	3	Visual	5	135	Estudos das necessidades de utilização e ações de melhoria ergonômica				9	2	2	36	
	Aspirar a matéria	>=90%	Aspiração insuficiente	Matéria não aspirada liberada no ar	8	Mas escolha do equipamento	6	Visual	4	192	Verificação da conformidade do equipamento e				8	1	2	16	
Transportar a matéria	2,5m	Vazamento	Perda de capacidade de aspiração	7	Mangueira danificada	3	Visual	5	105	Inspeção na mangueira e constituição de estoque de segurança	7				2	2	28		
Subsistema de movimento	Estar posicionado	raio de 2,5m	Dificuldade de movimento	Perda de produtividade	4	Obstrução das rodas	6	Visual	2	48	Limpeza regular				4	3	2	24	
						Mas escolha do equipamento	8	Visual	2	64	Estudos das necessidades de utilização				4	2	2	16	
Colocação	Posicionar o aspirador	Aspirador posicionado de forma a não obstruir o movimento dos operadores.	Aspirador mal posicionado	Perturbação das operações e fluxos	5	Mas organização do processo	5	Inspeção visual	2	50	Estudo de local ótimo de posicionamento do aspirador				5	1	2	10	
Posicionamento	Posicionar a entrada da mangueira	Posicionamento da mangueira de forma a aspirar a matéria o mais próximo	Obstrução da realização da operação	Operação ineficiente	6	Entrada da mangueira mal posicionada	4	Controle visual contínuo	3	72	Estudo da posição ótima da entrada da mangueira em relação às ferramentas				6	3	2	36	
Aspiração	Aspirar a matéria	Fração inalável da matéria restante < 10 mg/m3.	Aspiração insuficiente	Matéria não aspirada excessiva	8	Dificuldade de manter posição constante	5	Controle manual contínuo	2	80	Trabalho constante por dois operadores				8	3	2	48	
Deslocamento	Descolar o aspirador	Deslocamento do aspirador de forma a garantir as especificações da etapa "Posicionamento".	Tropeço do operador	Acidente de trabalho	9	Obstrução da movimentação pelos cabos e/ou mangueiras	4	Visual	4	144	Reposicionamento dos elementos presentes no processo de forma a eliminar ou reduzir a necessidade de realizar essa etapa				9	2	2	36	
			Obstrução do deslocamento do equipamento	Danificação do equipamento	7	O aspirador passa por cima dos cabos e/ou mangueiras	3	Visual	4	84					7	2	2	28	
Filtro	Aspirar a matéria	>=90%	Obstrução da vazão	Refluxo de ar	8	Filtros saturados	2	Visual	4	64	Manutenção regular e aquisição de filtros adicionais	Compra de filtros suplementares para evitar acúmulo excessivo nos filtros atuais, bem como diminuir paradas nas operações para limpeza dos filtros.	Infra-estruturas	Setembro de 2008	8	1	2	16	
	Filtrar a matéria	99%	Filtração ineficiente	Particulas nocivas não filtradas	9	Mas escolha do equipamento	3	Inspeções esporádicas	6	162	Estudos das necessidades de utilização				9	2	2	36	

### 4.3. Resumo do capítulo

Neste capítulo, uma visão mais clara e detalhada da situação atual do processo foi obtida. Com o método FMEA, a realização de um estudo estruturado foi possível, de forma a conhecer melhor as necessidades da linha de produção, bem como propor planos de ação simples, mas que podem auxiliar na melhoria do processo no curto prazo.

As melhorias incrementais foram propostas levando-se em conta os modos de falha mais críticos, de forma a constituir planos de ação sobre o equipamento e o processo atuais, capazes de serem implementados rapidamente e a um custo baixo.

As limitações do equipamento e uma necessidade futura de equipamentos na linha de montagem final criaram uma oportunidade interessante de antecipar a compra de equipamentos, realizando uma melhoria incremental ainda mais eficiente e com um custo tolerável pela empresa. Todavia, em se tratando de um valor mais significativo, tal decisão só pode ser tomada pelo diretor do departamento. As propostas de melhoria sugeridas são resumidas no quadro abaixo.

**Tabela 13 – Resumo de propostas de melhoria – Fonte: Elaborado pelo autor**

<b>Melhoria</b>	<b>Responsável</b>	<b>Prazo</b>
Plano de reconfiguração dos aspiradores no posto 2, de modo a eliminar o deslocamento do aspirador durante as operações, com a adoção de uma mangueira mais comprida, sustentada na altura da cintura por uma antena e pelas "half shells" em posição invertida. Realização de verificação periódica da mangueira e compra de mangueira de 20m, que pode ser cortada em diversos tamanhos a um custo linear mais baixo.	Responsável da produção	1 semana
Compra de filtros suplementares para evitar acúmulo excessivo nos filtros atuais, bem como diminuir paradas nas operações para limpeza dos filtros.	Infra-estruturas	Imediato
Compra antecipada de equipamentos industriais portáteis destinados à FAL, com uso provisório na linha do EC-135.	Infra-estruturas	Depende de aprovação
Criação de base de dados de histórico de falhas	Responsável da produção	Imediato

Finalmente, todas essas atividades permitiram conhecer de forma mais profunda as necessidades da linha de montagem em relação à aspiração, o que será fundamental para propor e analisar opções para um sistema mais adequado e definitivo, tema do próximo capítulo.

## 5. GERAÇÃO, ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS

Neste capítulo, será feita a avaliação de alternativas capazes de resolver os problemas de aspiração na linha de montagem das caudas do modelo EC-135. Após a realização do FMEA, as necessidades e problemas de aspiração da linha já são conhecidos. Assim, a avaliação visa comparar alternativas levando em conta seus custos, flexibilidade no funcionamento da linha, facilidade de implementação, ganhos tangíveis e intangíveis, e eficiência técnica nas operações.

### 5.1. Geração de alternativas

A pesquisa por alternativas para atender às necessidades do atelier foi realizada levando-se em conta as informações e conhecimentos adquiridos durante a análise da situação e elaboração de propostas de melhoria incrementais. Além disso, uma avaliação foi feita no hangar por GRUPO 17 (2008), com o objetivo de medir os riscos existentes devido à presença de partículas suspensas no ar. Os resultados mostraram que há uma exposição excessiva às partículas pelos operadores que participam diretamente da execução das operações de desbaste, com 16 mg/m<sup>3</sup>, enquanto o valor limite ambiental estabelecido pelo INSHT (*Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*) é de 10 mg/m<sup>3</sup>. Assim, para diminuir a concentração de pó para níveis aceitáveis, duas medidas foram propostas:

- Criação de uma zona de trabalho específica às operações geradoras de matéria particulada, delimitada fisicamente de modo a isolá-la, e equipamento com sistemas de aspiração horizontal e vertical (mesas de aspiração, solo e teto aspirante).
- Utilização de equipamento de aspiração concebido para matéria particulada de fibra de carbono, com depressão e vazão suficientes para proporcionar captação na própria ferramenta de trabalho, de forma a aspirar pelo menos 90% da matéria.

Deste modo, três alternativas foram propostas, levando em conta os estudos realizados interna e externamente, na busca de melhorias incrementais e pelo GRUPO 17 respectivamente:

- Câmara de aspiração;
- Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte;

- Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte.

### 5.1.1. Câmara de aspiração

A câmara de aspiração permite a criação de um ambiente completamente isolado, deixando o resto do hangar livre da matéria particulada.

Nesse caso, as peças seriam inseridas na câmara para a realização das operações de desbaste e/ou furação, e em seguida seriam removidas para a realização de outras operações.

A vazão de aspiração é da ordem de 20 000 m<sup>3</sup>/h sob baixa depressão. Dessa forma, matéria particulada poderá dispersar, mas será aspirada mesmo que lentamente.



**Figura 34 – Câmara de aspiração – Fonte: Spanesi (2007 p. 3)**

A instalação de uma câmara requer um solo aspirante, que pode ser obtido por uma elevação da estrutura ou construção de um fosso para abrigar os equipamentos.

A câmara deverá ser capaz de acolher uma peça inteira, o que representaria um mínimo de cinco metros para as “*half shells*” do posto 2 e de oito metros para as caudas no posto 3, de forma a fornecer distâncias para a movimentação dos operadores e execução das operações.

As plataformas de montagem do posto 3 são fixadas ao solo. Assim, a instalação de uma câmara de aspiração nesse posto não é factível. No caso do posto 6, as peças que necessitem de aspiração poderão ser transportadas à eventual câmara instalada no posto 2.

Do ponto de vista prático, o posto 2 seria decomposto em operações que utilizam aspiração e operações que não a utilizam. A câmara seria, portanto, um posto de trabalho em si.

A instalação de todo o aparato implicaria, portanto, modificações consideráveis no funcionamento da linha de montagem, principalmente no que diz respeito ao fluxo de peças.

Em relação aos custos, estimativas iniciais obtidas junto aos fornecedores apontam valores entre 25 000 e 30 000 euros, para a aquisição de uma cabine, sem contar as obras de instalação, estimadas em 10 000 euros.

Contudo, como dito anteriormente, a alternativa não pode ser instalada nos postos 3 e 6, devido a restrições técnicas nesses postos. O posto 3 possui um arranjo fixo, e logo a câmara teria de cobrir toda a área do posto, impossibilitando o uso da ponte rolante e, portanto, o transporte das peças.

Já no posto 6, não há espaço suficiente e as operações realizadas são esporádicas, e logo um investimento em uma câmara não se justificaria.

Assim, o arranjo da linha e a própria divisão das operações entre os postos deveria ser revista, e a câmara de aspiração tornar-se-ia um posto de trabalho em si.

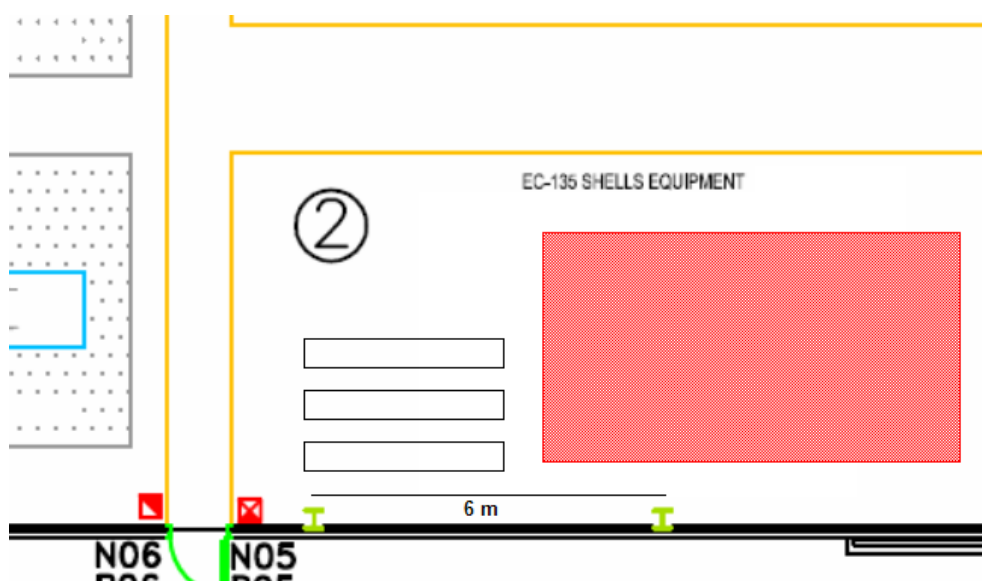


Figura 35 – Espaço ocupado por uma câmara de aspiração no posto 2 – Fonte: Elaborado pelo autor

### **5.1.2. Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte**

Os aspiradores portáteis e sua utilização na linha de montagem foram discutidos no capítulo anterior. Nesse caso, o equipamento de tipo industrial seria adquirido com captadores de partículas na fonte de geração, que nada mais são do que moldes com a forma das ferramentas que visam direcionar as partículas à entrada da mangueira.

Assim, seria necessária a compra de equipamentos para os postos de trabalho 2, 3 e 6. Dada as observações na linha e os depoimentos dos operadores, tem-se o seguinte número de equipamentos por posto:

- Posto 2 – Dois aspiradores;
- Poste 3 e 6 – Três aspiradores compartilhados segundo a demanda.

Cada equipamento tem um custo compreendido entre 1500 e 2000 euros, totalizando um investimento estimado de 9000 euros.

Em relação ao conforto e ergonomia na operação, a utilização desse tipo de equipamento acarreta problemas ligados à disposição nos postos de trabalho, bem como risco de tropeços, semelhantes aos problemas encontrados na situação atual. Além disso, se os cinco aspiradores propostos trabalhassem ao mesmo tempo, as emissões sonoras poderiam ser consideravelmente elevadas.

Para solucionar eventuais problemas, a proposição de melhoria que diz respeito à configuração do posto de trabalho 2, sugerida no capítulo anterior em 4.2.2 poderia ser adotada com o novo equipamento. Em relação ao posto 3, o trabalho nas plataformas, com a realização de operações de furação e ajustes manuais, e a presença do equipamento portátil, poderia reduzir o espaço útil de modo a prejudicar o posto e influenciar a produtividade.

Finalmente, segundo o estudo do Grupo 17 (2008), empresa que realizou a avaliação dos riscos existentes no hangar decorrentes da presença de matéria particulada, a adoção de captadores na fonte geradora permitiria a obtenção de um índice de aspiração igual ou superior a 90%.

Esse tipo de equipamento já é utilizado sem os captadores nas linhas de montagem finais (FAL), e antecipação de uma compra no contexto de expansão dessas linhas, e seu uso de forma provisória, sem captadores, foi sugerido como proposta de melhoria no capítulo anterior.

### 5.1.2.1. Captadores na fonte geradora

O captor na fonte geradora permite uma captação extremamente próxima da fonte de geração, eliminando assim a variabilidade da distância da mangueira de aspiração e da ferramenta, existente nos ajustes manuais. Ele permite igualmente que qualquer operação seja realizada por um só operador, o que pode gerar ganhos de produtividade.



Figura 36 – Captadores de partículas na fonte geradora

Fonte: Nederman (2008) e Eurocopter

Os captadores existentes no mercado são oferecidos em catálogo ou concebidos segundo a demanda. Sua utilização é cada vez mais difundida em diversos tipos de operação.

A concepção desse tipo de equipamento deve levar em conta aspectos ergonômicos intrínsecos à utilização das ferramentas. O fabricante Desoutter, um dos fornecedores as ferramentas utilizadas na linha, mostra os ângulos recomendados para utilização, bem como o volume de trabalho livre a ser respeitado nas operações. O captor deve, portanto, se integrar à ferramenta e seu funcionamento, e conseqüentemente às atividades realizadas.

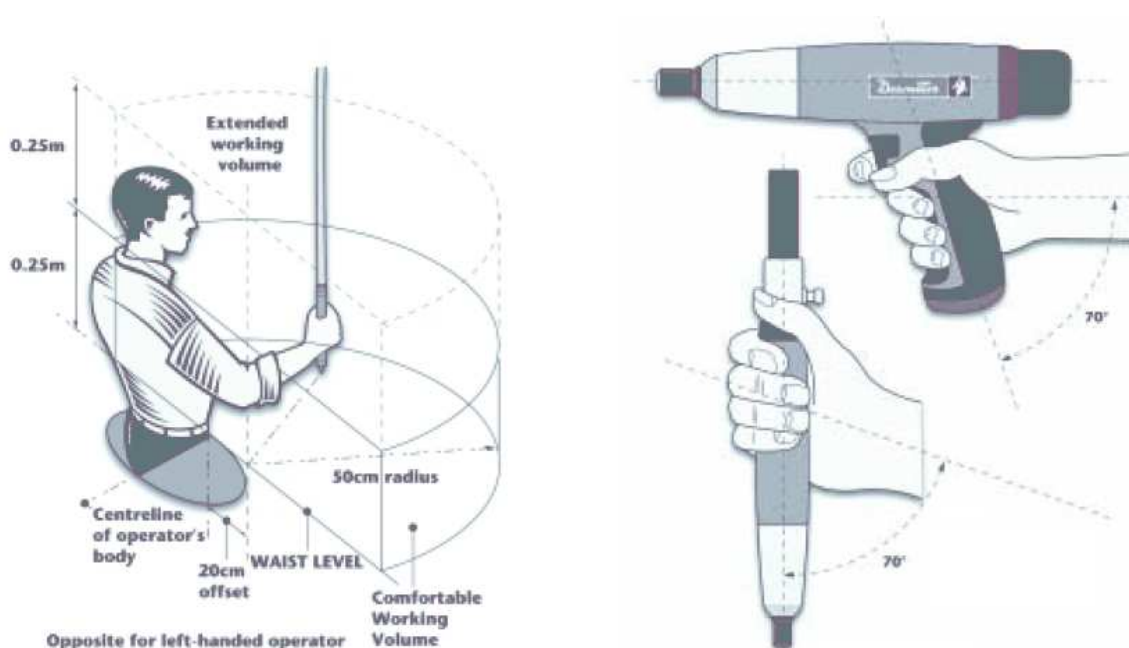


Figura 37 – Esquema ergonômico de algumas ferramentas utilizadas na linha

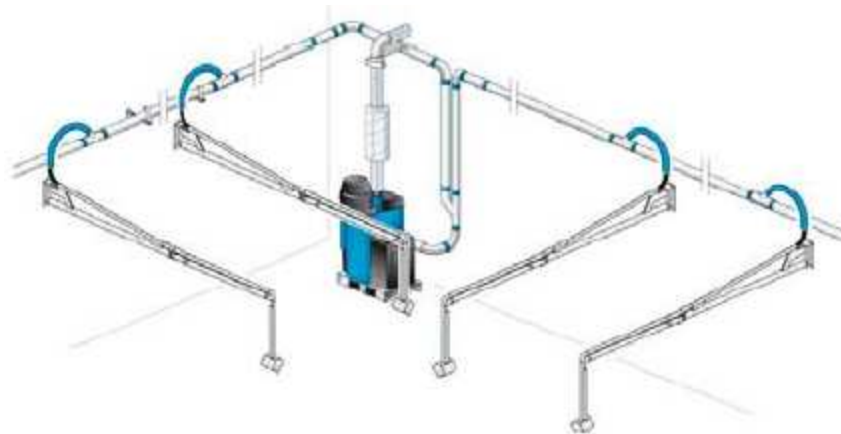
Fonte: Dessoutter (2004 p.6)

Uma pesquisa de informações na base de dados da Eurocopter mostrou que os captosres utilizados em furadeiras já foram testados e homologados na fábrica de Marignane, pelo LMP, Laboratório de Materiais e Procedimentos. Um exemplo de ficha de homologação se encontra no Anexo B. Tal homologação mostra que esse tipo de equipamento se adapta bem às necessidades das linhas de montagem, constituindo, portanto, um elemento interessante para tornar o processo mais eficiente e eficaz.

Os preços unitários variam entre 150 e 300 euros, dependendo do tipo de ferramenta e se o captor é produzido em série ou sob encomenda para um uso específico. O captor pode ser usado com aspiradores industriais portáteis ou com um sistema centralizado, e estima-se o uso de cinco unidades, totalizando um investimento entre 1000 e 1500 euros.

### 5.1.3. Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte

O princípio de funcionamento do sistema de aspiração centralizada é similar à aspiração portátil. Contudo, tem-se somente um aspirador, instalado em uma posição fixa, que chega aos pontos necessários através da instalação de tubulação.



**Figura 38 – Esquema de uma instalação de aspiração centralizada – Fonte: Nederman (2008)**

Cada ponto de aspiração pode ser utilizado de diferentes formas, sendo constituído de uma simples tomada de aspiração até o a adoção de braços articulados, que liberam o chão da passagem de mangueiras e cabos, por exemplo.

Outra característica desse tipo de sistema é o dimensionamento da vazão necessária levando-se em conta uma utilização prevista ou estimada, e não necessariamente a soma das vazões de cada ponto de aspiração instalado no sistema de tubulação.

Na entrada na mangueira, pode-se acoplar o captor na fonte geradora, utilizado de maneira similar à descrita no equipamento portátil.



No contexto da linha de montagem, a falta de dados confiáveis sobre a utilização dos aspiradores não permite um cálculo preciso da vazão necessária, mas as observações feitas, bem como os depoimentos dos operadores apontam um mínimo de dois postos de trabalho trabalhando ao mesmo tempo, ao passo que o sistema contaria com cinco ou seis pontos de aspiração.

Um sistema capaz de responder às necessidades da linha de montagem seria da ordem de 25000 euros, e sua instalação implicaria a realização de algumas obras para acomodar a tubulação e posicionar a unidade centralizada.

## **5.2. Os critérios de avaliação**

A avaliação das alternativas deve ser capaz de escolher uma solução que responda às necessidades de aspiração, definidas após a análise da situação atual, bem como das restrições impostas pelo funcionamento e organização da linha de montagem. Essas necessidades e restrições podem ser decompostas em questões fundamentais que regem e influenciam o funcionamento da linha de montagem, tais como produtividade, ergonomia, organização do trabalho, gestão de fluxos, manutenção e riscos ambientais. Tais aspectos constituem questões ditas técnicas. Deve-se acrescentar à análise a componente econômica, traduzido em entradas e saídas de capital ou seja, ganhos e despesas respectivamente.

Os critérios devem, portanto, ser capazes de abordar pelo menos uma das questões técnicas ou econômicas, de forma a distinguir as alternativas. Por outro lado, devem ser suficientemente claros para a realização da avaliação e atribuição de notas, além de adaptados ao contexto.

As questões levadas em conta para o estabelecimento dos critérios são melhor explicitadas abaixo:

### **Questões técnicas**

- Manutenção e produtividade, que abordam aspectos ligados às melhorias nas operações, principalmente, como diminuição do tempo de setup e diminuição de paradas programadas e não programadas, que levam à diminuição do *lead time*.
- A ergonomia, que aborda aspectos ligados ao conforto do operador durante a execução das tarefas, bem como efeitos do sistema no hangar (conforto, emissões sonoras, etc.).

- A organização do trabalho e gestão dos fluxos, que abordam aspectos ligados à organização dos operadores para execução das tarefas e utilização dos equipamentos, bem como a movimentação de materiais. Busca-se o máximo de flexibilidade para que o sistema possa adaptar-se ou melhorar o funcionamento atual da linha de montagem.
- Os riscos ambientais, que abordam aspectos ligados à exposição dos operadores à matéria particulada, à gestão de detritos e ao consumo de energia.

### **Questões econômicas**

- Os ganhos, que abordam aspectos ligados aos ganhos potenciais com a substituição do equipamento atual.
  - o Tangíveis: Existem ganhos econômicos tangíveis, como a diminuição de gastos com manutenção , e diminuição do custo atribuído ao produto, com uma eventual redução no *lead time*.
  - o Intangíveis: Existem também ganhos ditos intangíveis, os quais não são em geral medidos diretamente, tais como melhorias no ambiente de trabalho e sua repercussão na qualidade do produto e dos processos. Tais ganhos podem ser explicitados e estimados através de *benchmarking*, com o estudo de caso de adoção de soluções similares.
- As despesas, que abordam investimentos que deverão ser amortizados e custos suplementares. Trata-se, de fato, do valor que deverá ser rentabilizado pelos ganhos que o sistema trará quando instalado e utilizado.

Os critérios buscam avaliar as questões com as quais estão relacionados, sempre com o objetivo de classificar as alternativas, levando em conta o contexto e as restrições na linha. Assim, os seguintes critérios foram definidos:

- CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO: é um critério que leva em conta os recursos financeiros necessários à implementação do sistema.
- FLEXIBILIDADE : é um critério que visa avaliar como o sistema se integrará à linha, de forma a torná-la mais flexível e robusta no presente e eventualmente em mudanças no futuro. Tal integração poderá trazer conseqüências na produtividade, na ergonomia

das operações, na organização do trabalho, na qualidade do ambiente de trabalho e nas atividades de manutenção. O efeito sobre a linha poderá trazer ganhos econômicos, que também são levados em conta.

- **FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO:** é um critério que avalia os efeitos da implementação do sistema na linha de montagem, do ponto de vista físico. Tais efeitos poderão trazer modificações na organização do trabalho, e principalmente na gestão de fluxos, com possíveis modificações no layout, o que não é desejável.
- **GANHOS POTENCIAIS TANGÍVEIS:** é um critério que avalia as alternativas quanto aos ganhos que podem oferecer ao sistema, com uma atribuição de nota mais elevada com o aumento dos ganhos. O ganho principal seria uma redução do tempo de trabalho na linha, com conseqüente diminuição de custos e aumento de produtividade, e finalmente, uma possível redução dos custos de manutenção. Tais ganhos, são, no entanto, difíceis de medir a priori.
- **GANHOS POTENCIAIS INTANGÍVEIS:** é um critério que visa avaliar o potencial ganhos não mensuráveis diretamente, tais como melhoria na qualidade de trabalho, melhorias geradas na qualidade do produto decorrentes de melhoria na execução da operação, etc.
- **EFICIÊNCIA NA OPERAÇÃO:** é um critério que avalia a eficiência do sistema do ponto de vista técnico, traduzido pela eficiência na operação de aspiração em si, bem como na gestão dos detritos.

Com os critérios definidos e explicitados, buscou-se montar uma escala de 1 a 5, com um conceito correspondente a cada valor para cada critério. Nota-se que alguns critérios são de distinção mais difícil, o que justifica uma fusão de notas em um mesmo conceito. Além disso, buscou-se um tipo de calibração, ou seja, uma adequação dos conceitos de forma a tornar a escala mais efetiva na avaliação.

**Tabela 14 – Sistema de pontuação para cada critério de avaliação – Fonte : Elaborado pelo autor**

<b>Critério / Notas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Custo de Implementação	25 000 € ou mais	20 000 a 25 000 €	15 000 a 20 000 €	10 000 a 20 000 €	até 10 000 €
Flexibilidade	Gestão dos fluxos perturbada entre os postos e nos postos	Gestão dos fluxos perturbada entre os postos	Sem perturbações	Gestão dos fluxos melhorada entre os postos	Gestão dos fluxos melhorada entre os postos e nos postos
Facilidade de Implementação	Obras e reorganização da linha		Pequenas obras		Operacional imediatamente
Ganhos Tangíveis	Tempos de operação, setup e manutenção similares aos atuais	Diminuição de gastos e tempo de manutenção	Diminuição do tempo de setup e de manutenção	Operação mais estável e Diminuição do tempo de setup e de manutenção	Operação mais estável e de menor tempo, e Diminuição do tempo de setup e de manutenção
Ganhos Intangíveis	Melhoria na ergonomia da operação		Melhoria na ergonomia da operação e do posto de trabalho		Melhoria na ergonomia da operação, do posto de trabalho e na organização geral da linha de montagem
Eficiência na Operação	Aspiração na operação	Aspiração na operação e esvaziamento de detritos facilitado		Aspiração na operação e no posto de trabalho e esvaziamento de detritos facilitado	

### 5.3. Avaliação das alternativas

Com a definição e o estabelecimento dos critérios de avaliação, pode-se proceder a esta. Para tal, buscou-se descrever cada alternativa em relação a cada critérios, de forma a fornecer os elementos utilizados como base para as notas atribuídas.

#### 5.3.1. Custo de implementação

##### **Câmara de aspiração**

O custo de aquisição de uma câmara de aspiração para o posto 2 esta compreendido entre 25000 e 30000 euros. As obras realizadas para a instalação do equipamento são da ordem de 5000 euros.

##### **Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora**

O custo de aquisição de quatro modelos de aplicação industrial e três captadores na fonte geradora é de cerca de 9000 euros.

##### **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**

A instalação de um sistema centralizado para operação simultânea em dois postos de trabalho, com cinco pontos de aspiração instalados e cinco captadores na fonte geradora custa cerca de 25000 euros. As obras de instalação são da ordem de 2000 euros.

### 5.3.2. Flexibilidade

#### *Câmara de aspiração*

A câmara não pode ser utilizada por todos os postos, visto que a instalação de uma câmara para o posto 3 não é factível, devido a restrições impostas pela fixação das plataformas de montagem ao solo. Além disso, a instalação de uma câmara fechada por paredes poderia gerar problemas para a operação da ponte rolante existente no hangar, constituindo assim um obstáculo. A gestão de fluxos no posto 2 seria igualmente prejudicada pela instalação da câmara, pois a realização de operações não exige aspiração, como a colocação de tubulação interna nas “*half shells*”, seria dificultada.

#### *Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora*

O equipamento portátil pode gerar problemas se mais de um modelo for utilizado ao mesmo tempo, causando problemas de emissão sonora excessiva, e também problemas ergonômicos, com a necessidade de deslocar o equipamento e prepará-lo para as operações. Apesar disso, os operadores já estão mais familiarizados com esse tipo de equipamento.

#### *Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora*

O sistema centralizado de aspiração permite uma liberação total do espaço ocupado por mangueiras no chão do posto 2, através da utilização de braços articulados. Tal acessório contribui na melhoria da ergonomia e produtividade, permitindo trabalhar de forma mais estável e com tempo de setup reduzido, e o sistema pode ser ampliado facilmente.

### 5.3.3. Facilidade de implementação

#### *Câmara de aspiração*

A instalação da câmara de aspiração requer a realização de obras significativas para acomodar o equipamento, bem como uma reorganização dos fluxos e postos de trabalho, tudo em função do novo sistema.

#### *Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora*

Uma vez que esses equipamentos estejam entregues, sua utilização é imediata.

### **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**

O sistema requer obras para a instalação de tubulação e de braços articulado, bem como uma abertura na parede onde se encontrará a saída de ar.

#### **5.3.4. Ganhos Tangíveis**

##### **Câmara de aspiração**

A instalação de uma câmara poderia prejudicar de forma excessiva o funcionamento da linha de montagem no que diz respeito à gestão dos fluxos. Além disso, necessitar-se-ia a instalação de algum sistema suplementar para o posto 3, pois as plataformas fixas inviabilizam a instalação de uma câmara nesse posto.

##### **Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora**

A utilização desse sistema seria similar ao sistema atual, mas com uma manutenção menos recorrente graças a um sistema de filtração adequado.

### **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**

A liberação de espaço outrora ocupado por aspiradores e mangueiras é um fator importante para o aumento da produtividade e melhoria da gestão de fluxos. O fato de se trabalhar com somente um aspirador centralizado, com potência controlada segundo a demanda, permite a obtenção de economia de energia, manutenção reduzida e a diminuição de emissões sonoras.

#### **5.3.5. Ganhos Intangíveis**

##### **Câmara de aspiração**

A câmara de aspiração permite a obtenção de um posto de trabalho totalmente isolado, bem como elimina a presença da mangueira de aspiração.

##### **Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora**

A utilização do coletor na ferramenta, adaptado à empunhadura das ferramentas, permite uma operação mais confortável.

### **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**

A utilização do coletor na ferramenta, adaptado à empunhadura das ferramentas, permite uma operação mais confortável. Além disso, o uso das tubulações permite eliminar a presença dos aspiradores em cada operação realizada, e constitui uma real extensão dos elementos de alimentação (ar comprimido e sucção) à mão do operador.

#### **5.3.6. Eficiência na operação**

##### **Câmara de aspiração**

A utilização da câmara de aspiração permite a constituição de um ambiente de trabalho livre de matérias particuladas e logo grande melhoria na qualidade do ar, bem como uma gestão mais eficaz dos detritos aspirados.

### **Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora**

A aspiração com captadores na fonte geradora é muito eficiente, mas a manutenção deve ser realizada para cada equipamento de aspiração utilizado.

### **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**

As vantagens da aspiração com captadores na fonte são combinadas com um equipamento centralizado, que permite a realização de manutenção em somente um equipamento, e de maneira bem reduzida, graças aos mecanismos de auto-regulação existentes no equipamento.

#### **5.4. Notas atribuídas e alternativa escolhida**

As notas foram atribuídas a partir da análise efetuada no item anterior para cada alternativa em relação a cada critério de avaliação, confrontando-as com a escala de notas estabelecida. Dessa maneira, buscou-se justificar as notas atribuídas às alternativas, com o intuito de quantificar ao máximo as considerações realizadas e as projeções de implementação de cada alternativa.

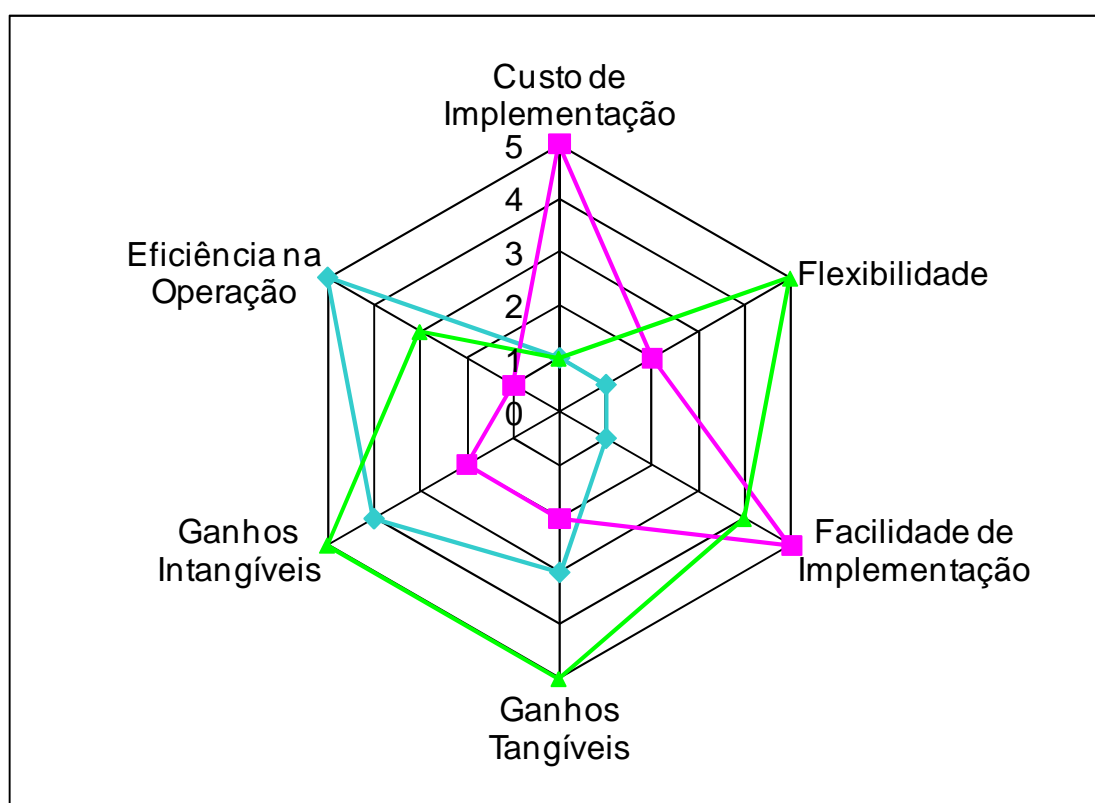
No que diz respeito à ponderação, decidiu-se por não adotar pesos, tendo em vista a existência de critérios com notas aglomeradas, bem como a falta de dados e medidas para a realização de uma avaliação mais precisa. Dessa forma, considerou-se que uma ponderação não

acompanhada de avaliação mais precisa poderia distorcer os dados e comprometer a validade da decisão tomada.

Com a análise das alternativas e o detalhamento exaustivo por cada critério, as notas foram atribuídas, e a tabela de decisão é mostrada abaixo:

**Tabela 15 – Notas das alternativas – Fonte : Elaborado pelo autor**

Alternativas / Notas	Custo de Implementação	Flexibilidade	Facilidade de Implementação	Ganhos Tangíveis	Ganhos Intangíveis	Eficiência na Operação	Total
Câmara de aspiração	1	1	1	3	4	5	15
Equipamento portátil de aspiração com captação na fonte geradora	5	2	5	2	2	1	17
Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora	1	5	4	5	5	3	23



**Figura 39 – Representação visual das notas das alternativas – Fonte : Elaborado pelo autor**

As notas mostram que a alternativa que responde melhor às necessidades da linha de montagem, levando-se em conta as restrições desta, é o **Equipamento centralizado de aspiração com captação na fonte geradora**.



### 5.5. Considerações sobre a decisão

Os critérios de adaptabilidade e dos ganhos tangíveis e intangíveis foram os maiores responsáveis pela diferenciação das alternativas. De fato, dadas as restrições na linha de montagem, no que diz respeito a seu funcionamento e o desejo de alterá-lo o mínimo possível, a alternativa escolhida permite uma adaptação quase completa, quiçá uma melhoria do funcionamento da linha de montagem, permitindo uma liberação de espaço importante.

Tecnicamente, a melhor alternativa seria a câmara de aspiração, capaz de prover um ambiente completamente isolado para as operações de desbaste. Em um contexto de concepção da linha de montagem ou uma reestruturação total do layout, ela poderia ter sido escolhida como solução. Outro fator que enfraquece essa alternativa no contexto da linha de montagem é a cadência da produção. Se esta fosse menor, ter-se-ia uma movimentação de materiais menos elevada, e assim a gestão dos fluxos não seria um fator tão importante.

Os aspiradores portáteis são claramente a solução menos custosa, mas as análises e pesquisas realizadas estimam que os ganhos potenciais do sistema centralizado compensarão um investimento mais importante. Esses ganhos se traduzem em uma melhoria da organização da linha como um todo, tornando-a mais robusta e certamente mais produtiva. Além disso, empresas que adotaram esse tipo de sistema mostram que o consumo de energia elétrica também diminui, e os gastos com manutenção também caem drasticamente.

Além disso, ganhos de produtividade local são esperados, com a diminuição do tempo de setup, de espera de utilização de equipamentos e melhoria de aspectos ergonômicos. No que diz respeito às atividades realizadas e a adequação ergonômica, há uma vantagem do sistema centralizado quando se inclui na análise as ambiências físicas, já que o deslocamento no posto de trabalho é muito facilitado e favorecido.

Finalmente, considera-se que uma modificação ou expansão da linha de produção não é algo que poderia ocorrer em médio prazo, visto que a indústria aeronáutica possui alto grau de perenidade em seus produtos. Apesar disso, o sistema escolhido possui alta flexibilidade, com possibilidade de expansão das tubulações e mesmo rearranjo, já que a instalação não exige a realização de obras de grande porte, como no caso das câmaras de aspiração.

## **5.6. Resumo do capítulo**

A avaliação das alternativas permitiu a escolha de uma solução. Tais alternativas foram definidas levando-se em conta toda a análise da situação atual desenvolvida no capítulo precedente, bem como um estudo externo dos riscos à exposição à matéria particulada no hangar onde a linha de montagem está instalada.

Os critérios de avaliação foram definidos e formulados de forma a se adaptarem ao contexto da linha de montagem, bem como para levar em conta as restrições que existem no hangar e na linha de montagem. Além disso, eles buscaram envolver pelo menos um dos aspectos considerados fundamentais para parametrizar e descrever o funcionamento da linha de montagem e do processo de aspiração.

A escala de notas para os critérios foi estabelecida com a atribuição de um conceito para cada nota, ou seja, uma descrição correspondente à nota numérica. Os conceitos foram definidos de forma a avaliar de forma eficiente as alternativas, e torná-las suficientemente distinguíveis no contexto, de maneira a escolher a mais adequada com uma avaliação metódica. Contudo, a falta de dados quantitativos não permitiu uma classificação mais precisa.

Apesar disso, o processo avaliação permitiu a escolha de uma alternativa de forma lógica e sensata. Assim, deve-se também detalhar seus desdobramentos técnicos, seus custos, seus ganhos potenciais e seu prazo de implementação, tema do próximo capítulo.

## 6. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Neste capítulo, o sistema de aspiração centralizada será dimensionado levando-se em conta as necessidades da linha de montagem no que diz respeito à depressão e vazão necessárias para as operações de desbaste com as diversas ferramentas, bem como as necessidades de cada posto no que diz respeito à forma de utilização da aspiração. O sistema obtido será quantificado no que diz respeito aos custos de aquisição.

Em um segundo momento, uma análise dos ganhos potenciais da implementação do novo sistema será feita, de forma a explicitar ganhos em manutenção, produtividade, bem como sobre a qualidade do ambiente de trabalho e de aspectos ergonômicos.

### 6.1. As necessidades técnicas

#### 6.1.1. Depressão e vazão

A depressão e a vazão constituem o binômio responsável pelo funcionamento de um aspirador, e a combinação deles permite a criação de soluções diversas para diferentes aplicações.

A depressão, medida em unidades de pressão, é fornecida pelo deslocamento de ar gerado pelo movimento do rotor. Tal situação cria um vácuo temporário rapidamente preenchido por ar, criando um movimento de sucção.

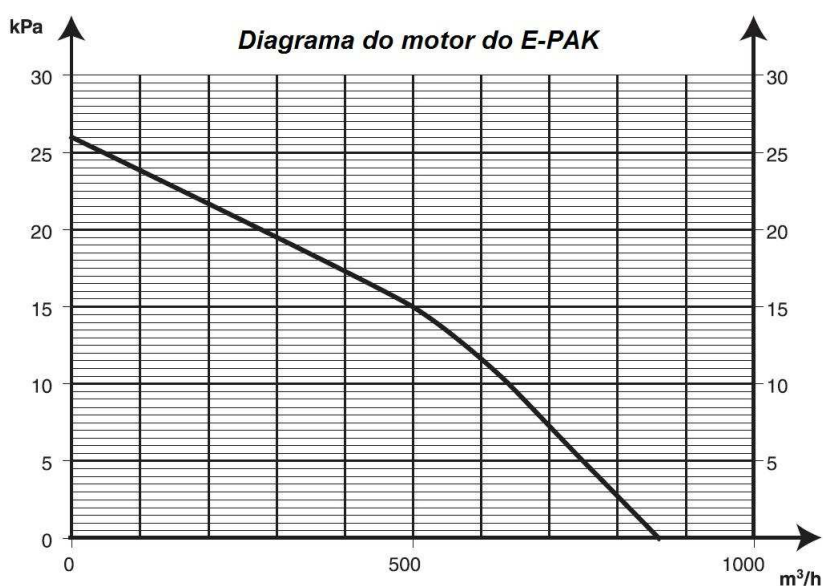


Figura 40 – Exemplo de curva característica - Fonte : Nederman (2008) – Traduzido pelo autor

A vazão é importante para garantir que a força de sucção gerada pela depressão seja capaz de se converter em aspiração efetiva de matéria. Outra variável importante é o diâmetro usado nas tubulações, que permite aumentar ou diminuir a velocidade do ar para uma mesma vazão.

O motor do aspirador é o responsável pelo movimento de rotor, que cria a depressão, e conseqüentemente um escoamento de ar que tem continuidade graças à vazão, a qual acaba por transportar matéria que esteja em sua trajetória.

De maneira similar a uma bomba hidráulica, o aspirador é capaz de fornecer uma carga ao ar, no caso a depressão, que é inversamente proporcional à vazão. Essa relação é freqüentemente mostrada nas denominadas curvas características.

Na aspiração, uma vazão elevada é importante para aumentar o raio de captura de partículas, o que se traduz na prática pela utilização de diâmetros de mangueira mais elevados, aumentando a superfície de entrada de ar. Essa prática é bastante utilizada em operações onde as partículas possuem velocidade reduzida, ou são em estado gasoso.

Para uma aspiração mais concentrada em um ponto, com uma velocidade de partícula mais elevada decorrente da realização de operações em alta rotação, como as de desbaste, uma depressão mais elevada faz-se necessária, de forma a vencer a inércia das partículas. Assim, utilizam-se vazão e diâmetros menos elevados, permitindo a concentração do fluxo de ar. O esquema a seguir traz uma recomendação de um fornecedor de equipamentos de aspiração para o uso de diferentes combinações de depressão e vazão, segundo o tipo de aplicação

**Tabela 16 – Tipos de aspiração – Fonte : Nederman (2008) – Traduzido pelo autor**

	<b>Alto vácuo</b>	<b>Baixo Vácuo</b>
<b>Tipo de partícula</b>	<b>Suspensa no ar ou resíduo sólido</b>	<b>Suspensa no ar</b>
Depressão kPA	15-50	1-3
Vazão por ponto de aspiração (m <sup>3</sup> /h)	80-400	até 3000
Velocidade da partícula (m/s)	20-90	até 25

Um sistema composto por vários pontos de aspiração deve ser capaz de fornecer a depressão e a vazão necessárias para cada ponto. Em geral, uma associação de motores em paralelo é utilizada, de forma a aumentar a vazão fornecida para uma mesma depressão.

Assim, para cada ponto de aspiração do sistema centralizado, estima-se uma vazão de **250m<sup>3</sup>/h** a uma depressão de aproximadamente **-15 Kpa**, levando-se em conta estudos e pesquisas realizados com alguns fornecedores de equipamentos, bem como os tipo de operação realizados na linha de montagem.

A instalação de tubulação e as mangueiras de aspiração geram perdas de carga. O cálculo detalhado dessas perdas é importante para a concepção do sistema, mas ele não faz parte dos objetivos do projeto. Assim, as perdas de carga são consideradas como uma variável a ser minimizada no momento de decidir a posição da unidade centralizada de aspiração e os pontos de aspiração, tendo como restrição o não comprometimento dos fluxos na linha de montagem.

### **6.1.2. A filtração**

A filtração constitui um ponto muito importante na utilização de um aspirador, pois seu mau funcionamento traz conseqüências diretas no fluxo de aspiração, fato que foi mostrado durante a aplicação do método FMEA no capítulo 3.

Para a filtração de pó agressivo e em grande quantidade, uma etapa de decantação deve ser realizada, de modo a reduzir a quantidade de matéria que chega diretamente ao filtro. Além disso, os filtros devem ter uma superfície grande, para que o sistema seja capaz de manter-se operacional por longos períodos de tempo. Os principais mecanismos de filtração primária, onde uma etapa de decantação é realizada são :

- Redutor dinâmico : um aumento brusco do volume diminui a velocidade do ar na entrada do depósito, respeitando a equação da continuidade da vazão.
- Entrada ciclônica : A entrada de ar encontra-se tangente à circunferência do depósito, e um molde cônico cria um sistema ciclônico onde a fricção do ar diminui sua velocidade, e a matéria transportada por ele cai por efeito da gravidade.

O sistema necessita, portanto, de uma filtração em dois tempos, capazes de filtrar mais de 99,9% das partículas, guardando estabilidade operacional e capacidade de auto-limpeza do filtro, aumentando consideravelmente sua vida útil e eliminando manutenção para limpeza.

## **6.2. O fornecedor dos equipamentos**

Após a tomada de decisão referente ao tipo de sistema a ser adotado, uma pesquisa de fornecedores foi realizada, e três fornecedores foram analisados:

- Barin : Fornecedor atual dos aspiradores nas linhas de montagem finais.
- IPCleaning : Fornecedor atual dos aspiradores da linha de montagem das caudas do EC-135.
- Nederman : Fornecedor de sistemas de aspiração para diferentes aplicações industriais.

Durante a visita do representante da IPCleaning, idéias em relação à concepção de um novo sistema foram discutidas. Todavia, foi proposta uma adaptação de um aspirador portátil de grande capacidade, com a instalação de tubulação e fabricação personalizada de alguns elementos como braços de aspiração. Tais características poderiam tornar o sistema mais custoso no que diz respeito à aquisição e manutenção.

O fornecedor Barin possui algumas alternativas de soluções de aspiração centralizada, mas sua área de atuação mais reputada são os aspiradores industriais portáteis.

O fornecedor Nederman apresentou uma extensa variedade de equipamentos centralizados, dispondo de equipamentos de catálogo capazes de atender às necessidades da linha de montagem. Além disso, a empresa possui clientes no setor aeronáutico, inclusive dentro do grupo EADS, na Airbus e na CASA, que utilizam sistemas centralizados para atender a necessidades similares às da Eurocopter España.

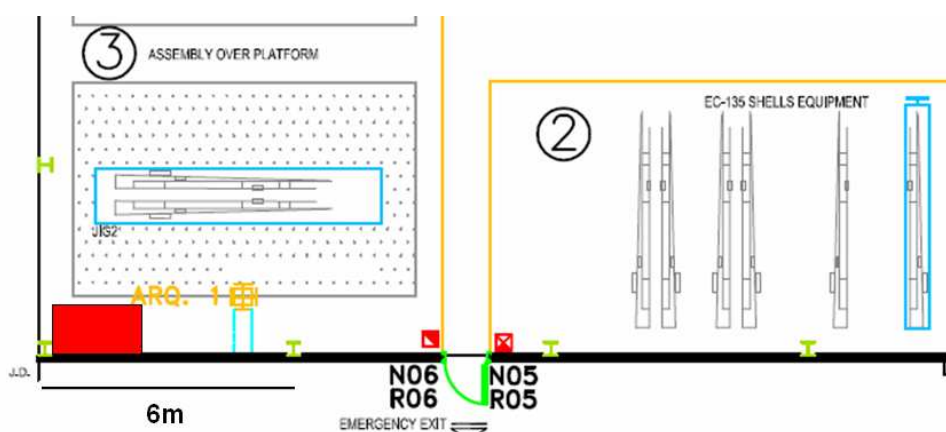
Dessa forma, com uma variedade de produtos mais interessante e uma experiência maior, o fornecedor Nederman foi escolhido. No que diz respeito aos prazos de entrega e preços, as diferenças não ultrapassam 10% entre os fornecedores, e a Nederman é o único fornecedor capaz de oferecer um serviço de manutenção de todos os elementos constituintes do sistema.

### 6.3. A localização da unidade centralizada

A unidade de aspiração centralizada deve estar localizada na linha de montagem dentro do hangar, pois uma instalação no exterior não é factível, devido à circulação externa de caminhões. Além disso, alguns aspectos devem ser levados em conta:

- A unidade centralizada deve estar localizada de forma a não criar distúrbios nas operações realizadas nos postos de trabalho.
- A unidade centralizada deve estar localizada de forma a minimizar as perdas de carga na tubulação. Isso implica, de fato, minimizar o comprimento da tubulação e o uso de elementos de conexão em curva.

Tais aspectos, associados às necessidades em aspiração de cada posto de trabalho, mostradas no capítulo 3, resultam seguinte proposta de localização:



**Figura 41 – Localização da unidade centralizada entre os postos 2 e 3 – Fonte: Elaborado pelo autor**

Tal localização parece ser adequada, com as seguintes vantagens :

- Localização que não cria distúrbios no fluxo da linha de montagem.
- Proximidade de uma tomada de corrente e de ar comprimido (ARQ. 1 na figura 41), e facilidade para realizar uma saída de ar, na parede inferior.
- Proximidade dos postos 2 e 3, com possibilidade de alimentá-los sem a utilização de conexões em curva na tubulação principal.

## 6.4. Os pontos de aspiração

### 6.4.1. Posto 2 - EC-135 - Shells Equipment

No posto 2, a proximidade das “*half shells*” e a duração das operações criam a necessidade de um posto de trabalho de circulação facilitada, sendo esse um fator importante para aumentar a produtividade e melhorar os aspectos ergonômicos do posto.

Assim, a utilização de braços articulados nesse posto é sugerida, de forma a criar um sistema flexível e robusto. Os braços poderiam igualmente transportar as mangueiras de ar comprimido, para a alimentação das ferramentas, constituindo uma extensão das tomadas de alimentação.

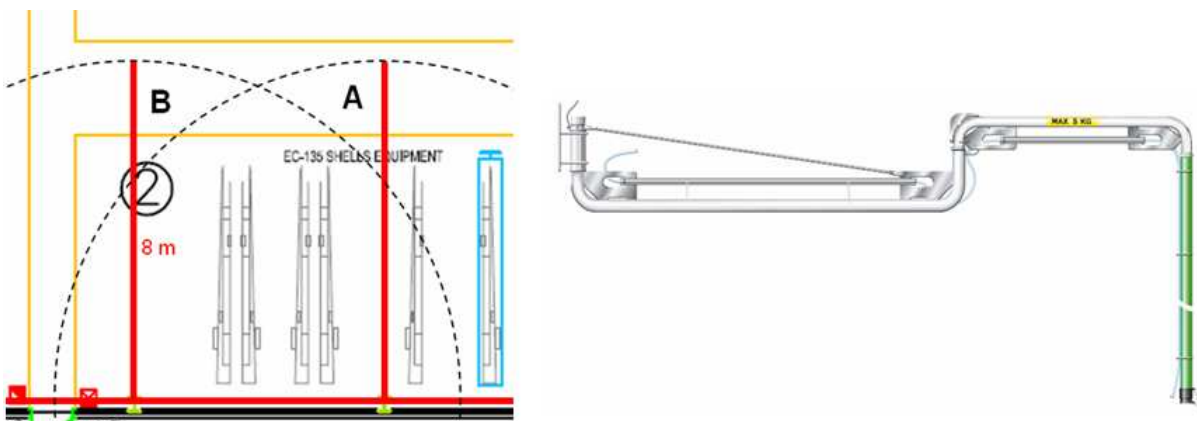
Esse tipo de acessório é clássico nos usos de alta rotação. De fato, um estudo de caso de Leppanen (2002), mostra a aplicação de braços articulados na fabricação de barcos, com operações de desbaste em fibra de vidro, similares às da Eurocopter.

A instalação dos braços poderia ser feita nas colunas metálicas dos hangares que se encontram no posto 2, de forma a aproveitar-se de sua estrutura reforçada



**Figura 42 – Braço articulado em uso**

**Fonte: Nederman (2008)**



**Figura 43 – Raio de ação dos braços articulados no posto 2 – Fonte: Nederman (2008) e autor.**



### 6.4.2. Posto 3 - EC-135 – Assembly over platform

No posto 3, a utilização de braços mecânicos seria complicada, pelas seguintes razões:

- A localização das plataformas de montagem e o perímetro de aspiração das peças criam uma distância das colunas metálicas do hangar no posto de cerca de oito metros, e esta é o alcance máximo dos braços.
- Diferentemente das operações do posto 2, onde o trabalho realizado concentra-se na parte superior das peças, as operações de furação podem ser realizadas em todas as partes da peça, o que tornaria a utilização do braço de aspiração mais problemática.

Devido a essas duas razões, e dado que as necessidades em aspiração do posto são menores, os braços articulados não serão empregados. No seu lugar, tomadas de aspiração simples serão utilizadas, com a utilização de mangueira capazes de cobrir todo o perímetro. Além disso, o investimento em braços de aspiração para um uso não otimizado é desnecessário, tendo em vista os custos unitários de cerca de 1500 euros.

A priori, pensou-se na instalação de dois pontos de aspiração, mas compartilhar duas tomadas para dois postos seria mais complexo, e a gestão das mangueiras no posto poderia ser complicada. Assim, três pontos serão instalados, com válvulas de acionamento automático instaladas em cada coluna do hangar, muito próximas ao eixo de cada plataforma de montagem, como visto na figura.

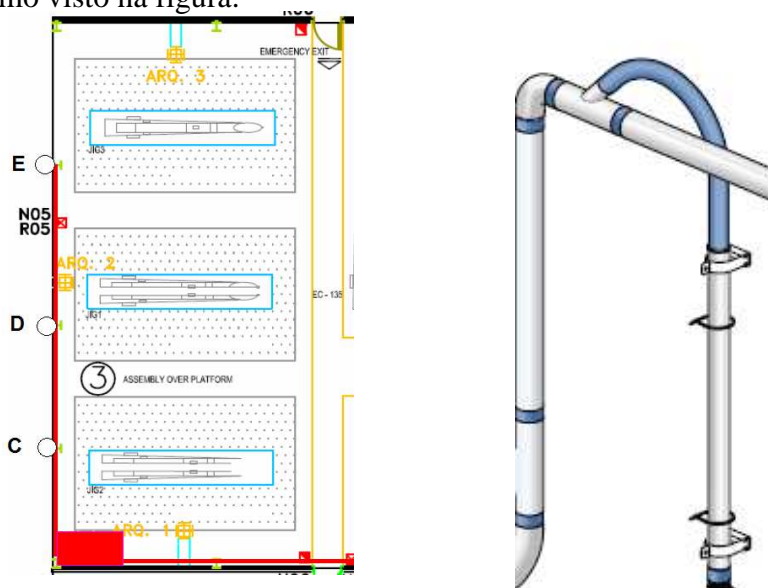


Figura 44 – Localização dos pontos de aspiração e esquema de uma válvula do posto 3

Fonte: Nederman (2008) e autor

### 6.4.3. Posto 6 - EC-135 – Final Equipment

No posto 6, a necessidade de aspiração não é tão significativa, se comparada à dos postos 2 e 3, com uma demanda esporádica para a realização de operações de retoque.

A priori, pensou-se em equipar o posto com uma tomada de aspiração similar às do posto 3. Contudo, a tubulação necessária para chegar nesse posto, partindo do ponto de aspiração “E” (um dos pontos do posto 3, como visto na figura 44), seria de aproximadamente 25 metros, com tubulação em curva de 90 graus.

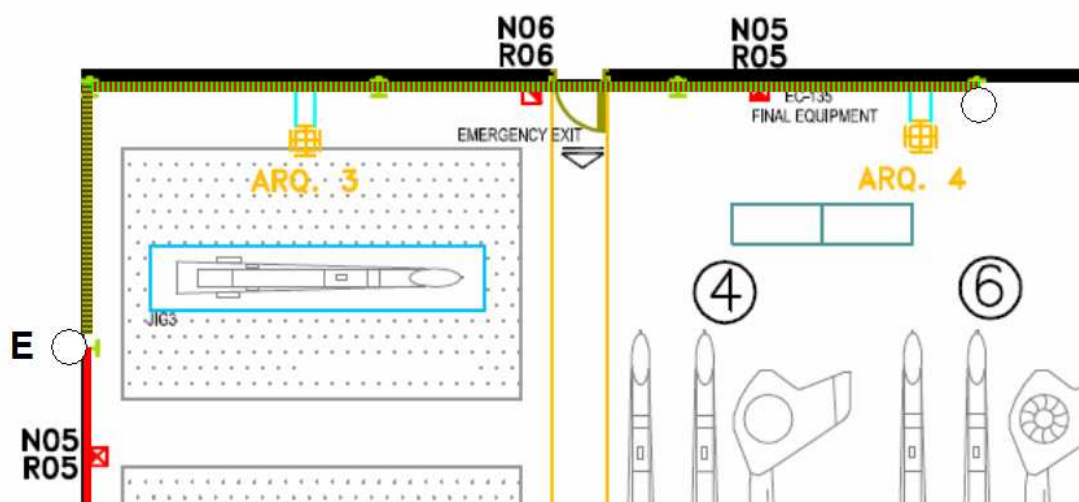


Figura 45 – Tubulação necessária para instalar um ponto de aspiração no posto 6

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, estimou-se que os custos associados à extensão da tubulação, bem como as perdas de carga que ela acarretaria, não compensam sua instalação. Para atender a esse posto, pode-se utilizar um dos aspiradores atuais existentes na linha, o que é justificado pelos seguintes pontos:

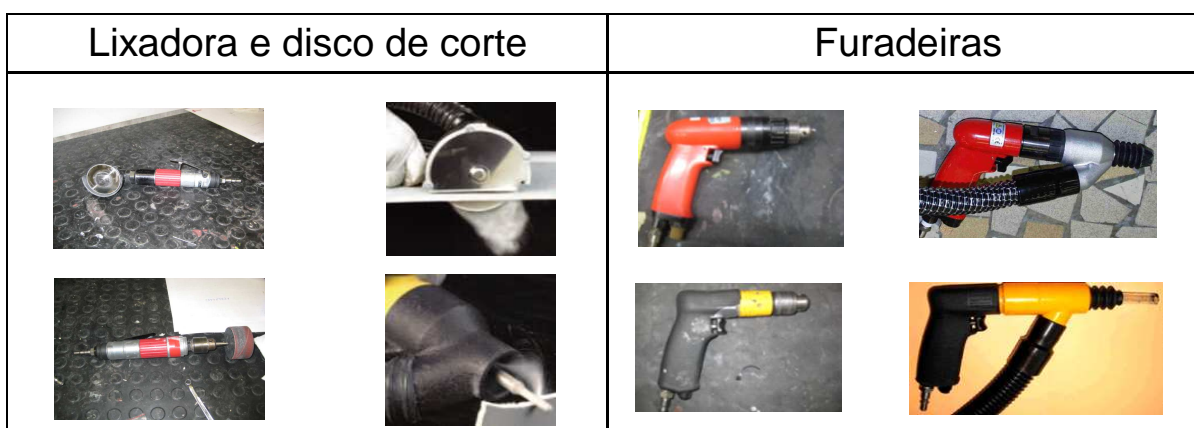
- O aspirador pode ser colocado em uma localização fixa, visto que o perímetro de aspiração necessário é totalmente coberto pela mangueira de 2,5m.
- A utilização do aspirador é consideravelmente menor se comparado aos postos 2 e 3, sendo estimada em duas horas por semana. O aspirador atual poderia atender às necessidades do posto, e a limpeza dos filtros poderia ser feita com o esvaziamento do depósito da unidade centralizada, e espera-se uma quantidade de matéria bem inferior.
- Parte das máquinas atuais não seria desperdiçada. O restante dos aspiradores poderia ser utilizado em serviços de limpeza geral das instalações.

#### 6.4.4. Os captosres na fonte geradora

Para cada tipo de ferramenta utilizada na linha de montagem, um captor correspondente será empregado. Uma vez que o sistema já esteja em funcionamento, novos captosres poderão ser incorporados, quando a produção já estará mais estável e ajustada. Os captosres são concebidos para uma adaptação à utilização da ferramenta, respeitando os padrões ergonômicos desta. O fornecedor Nederman possui uma variedade de captosres de catalogo, mas estão habituados à concepção de captosres personalizados, os quais poderão ser empregados.

Um tipo de captor pode requerer, por exemplo, um diâmetro de mangueira menor que o utilizado no sistema centralizado, que será de 63 mm. Assim, um elemento de redução seria incorporado.

A velocidade do ar na entrada do captor, utilizando-se uma vazão de 250m<sup>3</sup>/h, pode variar entre 20 e 60 m /s.



**Figura 46 – Correspondência entre captosres e ferramentas da linha de montagem**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

O custo unitário de um captor é de cerca de 250 euros. Dentre as ferramentas existentes na linha de montagem, duas já possuem captosres testados e homologados na fábrica de Marignane. A decisão sobre a utilização de um captor de catálogo ou um personalizado será feita durante a implementação do sistema, com estudos mais detalhados do fornecedor. A implementação dos captosres pode levar mais tempo que do sistema como um todo, mas isso não impede que o sistema inicie suas operações, mesmo de forma incompleta.

## 6.5. A unidade centralizada

### 6.5.1. A vazão necessária

A configuração proposta para o sistema centralizado de aspiração, no que diz respeito aos pontos de aspiração, é a seguinte :

- Posto 2 - Dois pontos de aspiração **A e B**, com a utilização de braços articulados.
- Posto 3 – Três pontos de aspiração, **C, D e E**, com a utilização de válvulas para o uso de mangueira de aspiração.

No posto 6, um aspirador utilizado atualmente será empregado, pelas razões descritas no item 6.4.3.

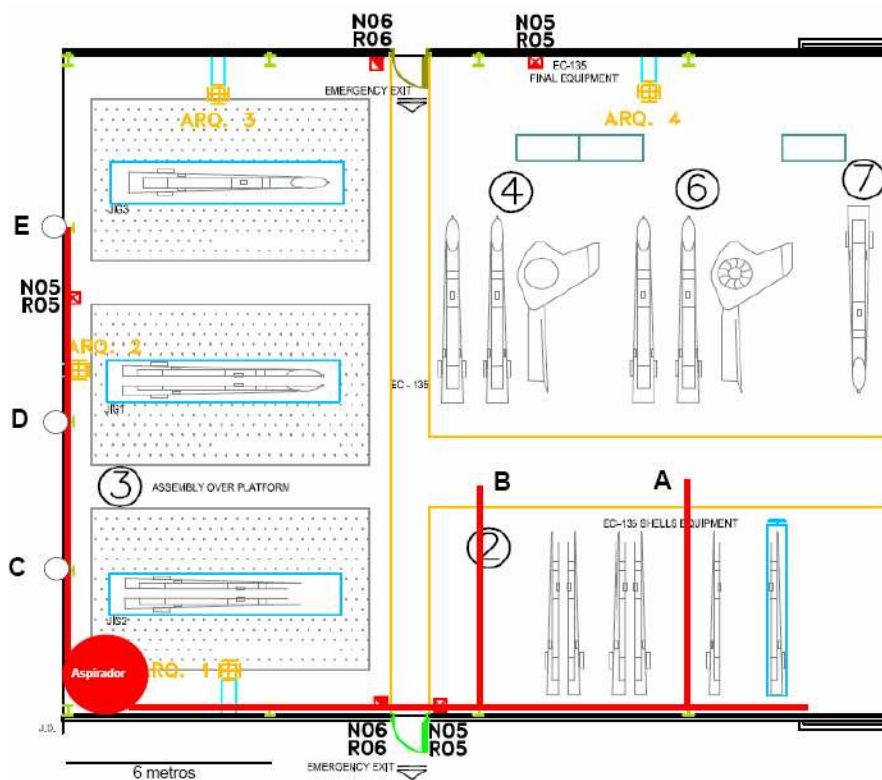


Figura 47 – Esquema do hangar com o sistema de aspiração centralizada – Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, o sistema terá cinco pontos de aspiração, e a aquisição de um equipamento capaz de fornecer uma vazão de 250 m<sup>3</sup>/h para cada ponto a uma depressão de -15 kPa implicaria o investimento em uma unidade centralizada com capacidade de 1250 m<sup>3</sup>/h, constituindo um investimento considerável.

Todavia, um dos diferenciais desse tipo de sistema é justamente de levar em conta a não simultaneidade da utilização dos pontos de aspiração. Dessa forma, a capacidade nominal poderia ser reduzida.

Apesar disso, os dados existentes e as observações feitas não permitem uma apuração precisa da simultaneidade de utilização da aspiração na linha de montagem. As informações existentes são as seguintes :

- O posto 2 é o principal utilizador da aspiração, o uso simultâneo dos pontos de aspiração A e B é um cenário com probabilidade considerável. Considerando-se uma utilização estimada de 4 a 6 horas de cada ponto, durante uma jornada de 8 horas, tem-se uma probabilidade de 75% de estado de funcionamento. A utilização em si é continua durante as operações de desbaste.
- No posto 3, segundo as observações feitas e o depoimento dos operadores, o aspirador é usado cerca de uma hora por dia em cada plataforma de montagem, nas operações de furação, constituindo portanto uma probabilidade de 12,5% de estado de funcionamento por ponto de aspiração. Contudo, a operação de furação é discreta e repetitiva, ou seja, na situação atual, mesmo com o aspirador ligado, havia alternância de períodos de operação e não operação, correspondendo ao deslocamento da ferramenta para a realização de um novo furo.

Com as estimações de tempo de utilização, cálculos de probabilidade foram efetuados de modo a traçar um perfil de utilização mais quantitativo.

**Tabela 17 – Estimativa de probabilidades de uso da aspiração nos postos de trabalho**  
Fonte : Elaborado pelo autor

<b>Posto 2 - Shells Equipment</b>		<b>Posto 3 - Assembly over platform</b>	
Probabilidade de estar em funcionamento	75%	Probabilidade de estar em funcionamento	12,5%
Pontos em funcionamento			
Nem A, nem B	6,3%	Nem C, nem D, nem E	67,0%
Ponto A ou B	37,5%	1 ponto	28,7%
Pontos A e B	56,3%	2 pontos	4,1%
-	-	C, D e E	0,2%
Pelo menos 1 ponto	93,8%	Pelo menos 1 ponto	33,0%

O cálculo foi realizado supondo independência de funcionamento entre os pontos de aspiração em um posto de trabalho e entre os postos de trabalho na linha de montagem.

**Tabela 18 – Combinações das probabilidades de utilização simultânea na linha de montagem**

Fonte: Elaborado pelo autor

Pontos em funcionamento	Combinação de pontos em funcionamento			Probabilidade
0	-	-	-	4,2%
1	1 do posto 2	1 do posto 3		26,9%
2	2 do posto 2	2 do posto 3	1 do posto 2 e 1 do posto 3	48,7%
3	2 do posto 2 e 1 do posto 3	1 do posto 2 e 2 do posto 3	3 do posto 3	17,7%
4	2 do posto 2 e 2 do posto 3	1 do posto 2 e 3 do posto 3	-	2,4%
5	2 do posto 2 e 3 do posto 3	-	-	0,1%
Pontos em funcionamento	Combinação de pontos em funcionamento			Probabilidade
0	-	-	-	4,2%
1	25,1%	1,8%	-	26,9%
2	37,7%	0,3%	10,8%	48,7%
3	16,1%	1,5%	0,0%	17,7%
4	2,3%	0,1%	-	2,4%
5	0,1%	-	-	0,1%

Com os valores obtidos, foi possível calcular a probabilidade do número de pontos de aspiração trabalhando simultaneamente.

**Tabela 19 – Estimativa de utilização de pontos de aspiração de forma simultânea na linha**

Fonte: Elaborado pelo autor

Pontos em funcionamento	Probabilidade acumulada	Vazão exigida (m <sup>3</sup> /h)
Maximo 1	31,1%	250
Maximo 2	79,8%	500
Maximo 3	97,5%	750
Maximo 4	99,9%	1000
Maximo 5	100,0%	1250

Os valores mostram que o sistema trabalharia com um máximo de três pontos simultâneos (equivalente a 750 m<sup>3</sup>/h a -15 kPa) durante 97,5% do tempo, por exemplo.

Apesar disso, os dados atuais não permitem a obtenção de resultados conclusivos, e um estudo mais detalhado e mais longo seria necessário para que uma decisão mais apurada possa ser tomada. Tal estudo dos tempos efetivamente empregados na aspiração deve levar em conta:

- Os tempos de processo na linha de montagem, de modo a estabelecer um tempo padrão.
- O tempo efetivo de emprego da aspiração em cada processo, e não somente o tempo em que o equipamento está ligado. Tal diferenciação é importante nas operações discretas como a furação, onde ocorreriam acionamentos sucessivos.
- Um histórico mais confiável das operações na linha de montagem, de modo a obter informações sobre picos de utilização durante a jornada de trabalho, por exemplo.

O responsável pela produção, um dos envolvidos na análise FMEA, está conduzindo estudos para estabelecer e padronizar os tempos de processo, bem como realizar trabalhos de nivelamento da capacidade entre os postos de trabalho. As informações e análises desse trabalho de formatura serão importantes para que o responsável pela produção possa inserir o tema em seus estudos.

A implementação do sistema centralizado não será feita no curto prazo, e logo cabe um estudo mais detalhado para conhecer melhor a simultaneidade de utilização da aspiração.

Outra informação importante a ser considerada é a experiência do fornecedor Nederman (2008), que indica o uso de uma máquina com capacidade para atender cerca de 30 a 40% da vazão instalada. Assim, a vazão necessária seria de cerca de 500 m<sup>3</sup>/h, ou seja, dois pontos de aspiração trabalhando simultaneamente.

A determinação mais precisa das necessidades de vazão simultânea no sistema são importantes, pois a unidade centralizada corresponde a cerca de 70% do total dos custos de aquisição. Um sistema superdimensionado implica gastos desnecessários, e um sistema subdimensionado seria ainda pior, sem atender plenamente às necessidades da linha.

### 6.5.2. As máquinas

A Nederman oferece uma linha de produtos interessantes para as necessidades da Eurocopter. Trata-se da linha E-PAK, capazes de fornecer vazões de 110m<sup>3</sup>/h a 1000/h m<sup>3</sup> segundo o modelo. Essas máquinas são compactas e transportáveis facilmente, sendo montadas sobre uma plataforma paletizada, e concebidas para trabalhar em fábricas pequenas e médias. Uma descrição mais detalhada da linha encontra-se no Anexo C, e as características principais dos modelos são mostradas a seguir.

**Tabela 20 – Especificações dos equipamentos centralizados Nederman E-PAK**

**Fonte : Elaborado pelo autor a partir de Nederman (2008)**

<b>Modelo</b>	<b>Unidade</b>	<b>E-PAK 150</b>	<b>E-PAK 300</b>	<b>E-PAK 500</b>	<b>E-PAK 1000 AS</b>
Potência	kW	3	5,5	13	6,3-17,3
Vazão livre	m <sup>3</sup> /h	270	450	860	1 400
Vazão a -15 Kpa	m <sup>3</sup> /h	110	290	500	1 015
Depressão máxima	kPa	-26	-30	-26	-20
Eficiência do filtro	%	99,97	99,97	99,97	99,97
Superfície do filtro	m <sup>2</sup>	3,4	3,4	3,4	3,4
Duração do filtro	h	4.000-6.000	4.000-6.000	4.000-6.000	8 000
Nível Sonoro ISO 11201	dB(A)	63	64	67	68
Peso	kg	194	235	333	430
Preço	€	13 102,50	14 775,00	16 950,00	25 125,00

A principal diferença entre os modelos é a vazão, e os modelos mais potentes possuem mais motores associados em paralelo, trabalhando com depressão similar.

Nota-se igualmente uma variação de preço considerável do modelo E-PAK 500 para o modelo E-PAK 1000. Esse último fornece uma vazão duas vezes maior, possuindo um controle de potência do motor, de modo a otimizar o consumo de energia elétrica. Além disso, a máquina mais potente traria mais robustez à linha de montagem. Segundo uma sugestão do fornecedor, o sistema poderia ser utilizado para limpeza geral do hangar, e estaria igualmente preparado para um aumento de capacidade com uma unidade centralizada mais potente ou um aumento atípico da simultaneidade dos pontos de aspiração em funcionamento.

O modelo E-PAK 500 apresenta um custo 40 % inferior, e segundo a experiência do fornecedor de utilização simultânea de 30% da vazão instalada, seria capaz de atender às necessidades da linha .



### 6.5.3. A válvula de segurança

A instalação de uma válvula de segurança anti-explosão é importante para proteger as instalações e principalmente as pessoas que trabalham na linha de montagem. De fato, o risco de explosão provém de um aumento da pressão próximo ao depósito do aspirador. Assim, a válvula isola uma propagação de uma retro-explosão do sistema pela tubulação.

Tais eventos são muito raros, mas sua propagação é rápida. Segundo Shelley (2008), as explosões com matéria particulada ocorrem muito rapidamente, e não há tempo para reagir, literalmente. Nesse contexto, o uso de válvulas é um controle de Engenharia eficiente, principalmente onde as explosões podem propagar-se rapidamente em tubulações.

Assim, decidiu-se pela utilização desse tipo de proteção, também recomendada pelo fornecedor, com um custo de aproximadamente 4000 euros.

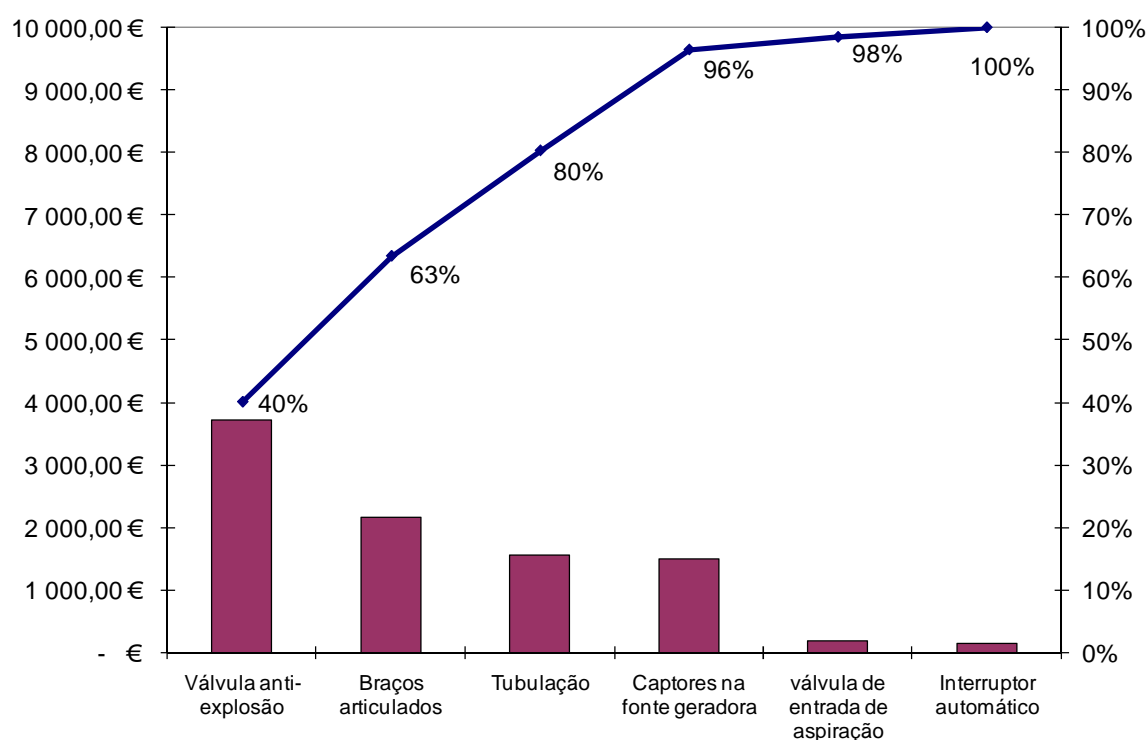
### 6.6. Os custos de aquisição

Um orçamento foi realizado pelo fornecedor Nederman (Anexo D) de forma a estabelecer os custos de aquisição de todo os elementos constituintes do sistema de aspiração centralizada. Com exceção da unidade centralizada, todo o resto dos orçamentos são idênticos.

Contudo, a unidade centralizada é o elemento de maior peso nos custos, e trata-se do elemento menos flexível do sistema. De fato, uma vez que esta for adquirida, uma quantia significativa de recursos financeiros será imobilizada, ao passo que os outros elementos do sistema são mais facilmente modificados ou ampliados. Por exemplo, mesmo após a instalação do sistema, uma ampliação da tubulação até o posto 6 é factível, se julgada necessária. As tabelas e gráficos seguintes permitem uma visualização mais clara dos custos.

**Tabela 21 – Detalhamento dos custos dos elementos auxiliares do sistema – Fonte: Elaborado pelo autor**

Elementos constituintes	Quantidade	Preço Unitário	Preço
Válvula anti-explosão	1	3 727,50 €	3 727,50 €
Braços articulados	2	1 083,75 €	2 167,50 €
Tubulação	-	1 566,00 €	1 566,00 €
Captores na fonte geradora	5	300,00 €	1 500,00 €
válvula de entrada de aspiração	5	37,50 €	187,50 €
Interruptor automático	5	28,50 €	142,50 €
Total			9 291,00 €

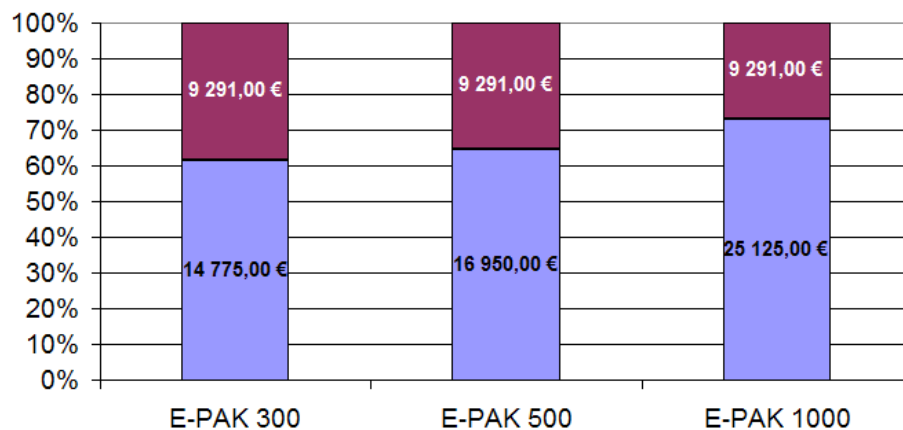


**Figura 48 – Pareto dos custos dos elementos constituintes (sem unidade centralizada)**

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 22 – Custos do sistema segundo a unidade centralizada – Fonte : Elaborado pelo autor**

Unidade centralizada	E-PAK 300	E-PAK 500	E-PAK 1000
Preço máquina	14 775,00 €	16 950,00 €	25 125,00 €
Preço elementos constituintes	9 291,00 €	9 291,00 €	9 291,00 €
Total	<b>24 066,00 €</b>	<b>26 241,00 €</b>	<b>34 416,00 €</b>
Capacidade simultânea (pontos)	1	2	4
Custo por ponto simultâneo	24 066,00 €	13 120,50 €	8 604,00 €
Custo marginal por ponto	24 066,00 €	2 175,00 €	5 175,00 €



**Figura 49 – Repartição dos custos do sistema segundo o modelo de unidade centralizada**

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores obtidos reforçam o peso da unidade centralizada nos custos de aquisição. A escolha ótima seria a unidade centralizada menos custosa capaz de atender às necessidades da linha de montagem, de forma a ter a adaptabilidade necessária ao bom funcionamento, bem como permitir melhorias no processo e conseqüentemente da produtividade, dos aspectos ergonômicos, da organização do trabalho, da gestão de fluxos e da manutenção.

O problema, que inicialmente era a escolha de um sistema adequado para a realização de atividades de aspiração na linha de montagem das caudas do EC-135, foi reduzido à seleção da unidade centralizada que deverá equipar o sistema centralizado de aspiração com captação na fonte geradora. Infelizmente, a imprecisão dos dados de tempos de produção, bem como a falta de um perfil de aspiração mais quantitativo em cada posto de trabalho, não permitiram a realização de uma escolha definitiva.

No contexto da empresa, onde o sistema não será implementado no curto prazo, e onde estudos de tempos e processos da linha de montagem já estão em andamento, é preferível esperar a tomar uma decisão arbitrária que pode criar um sistema superdimensionado, ou pior, um sistema subdimensionado que não resolva completamente o problema inicial.

### **6.7. Os ganhos potenciais**

A instalação do sistema de aspiração centralizada permitirá a obtenção de ganhos importantes para a linha de montagem. Essa alternativa foi escolhida principalmente por sua capacidade de se adaptar ao funcionamento da linha de montagem, e também por seu potencial de realização de melhorias, que se traduzem em ganhos econômicos que “pagam” o investimento realizado.

A medição dos ganhos possui certo nível de incerteza, pois há modalidades de ganhos, principalmente aqueles ligados à melhoria da qualidade de trabalho e melhoria de aspectos ergonômicos, ou seja, ganhos que afetam mais diretamente as pessoas, que não são medidos nem contabilizados de maneira direta.

### **6.7.1. Os ganhos tangíveis**

#### **6.7.1.1. A manutenção**

A implementação do sistema trará certamente um impacto sobre as atividades de manutenção. De fato, atualmente, os filtros dos aspiradores são limpos duas vezes por semana, pois existe um processo de saturação muito rápido. O processo de limpeza dura cerca de uma hora, e a execução é feita por uma empresa terceirizada. A cobrança, estipulada em contrato, é de 20 euros por hora.

Assim, o custo atual é de cerca de 160 euros por mês, com a realização de oito limpezas. Tal despesa seria completamente eliminada, visto que a manutenção dos equipamentos E-PAK é praticamente inexistente. Assim, espera-se uma entrada no fluxo de caixa de 160 euros.



**Figura 50 – Procedimento de limpeza dos filtros – Fonte: Tomada pelo autor**

Na figura é possível visualizar a diferença no filtro entre a parte limpa, em branco e a parte com matéria acumulada, em preto. Trata-se, portanto, de um procedimento essencial para que o equipamento atual possa funcionar por mais tempo, mas extremamente inconveniente para o funcionamento da linha de produção.

Com o sistema de aspiração centralizada, os custos de manutenção de curtíssimo prazo são desprezíveis, graças a um sistema de filtração mais estável, duradouro e auto-limpante, que apesar de mais custoso inicialmente, mostra-se mais adequado no médio e longo prazo.

### **6.7.1.2. A produtividade**

A instalação do sistema poderá contribuir para aumentar a produtividade na linha de montagem, principalmente nos seguintes pontos:

- Tempo de setup : O processo atual requer o posicionamento do aspirador, seu transporte e acionamento. Essas etapas serão eliminadas ou muito reduzidas com o novo sistema. De fato, a única coisa a ser feita será o acoplamento do captor na ferramenta e a colocação da mangueira.
- Espera : A espera para a utilização dos aspiradores constitui um tempo completamente improdutivo. Esse tempo será eliminado com a implementação do sistema.
- Continuidade do processo : As interrupções durante a execução das operações são freqüentes, devido a problemas no fluxo de aspiração. A adoção do sistema centralizado diminuirá consideravelmente as paradas indesejadas no processo.

A diminuição ou eliminação do tempo perdido pelas razões mencionadas poderia gerar uma diminuição dos custos de produção. A determinação do tempo perdido, e conseqüentemente do potencial de redução deste, não podem ser feitas com precisão com os dados existentes, pelas mesmas razões que não permitiram a decisão sobre o número de pontos de aspiração utilizados simultaneamente.

Apesar disso, as observações feitas e os depoimentos dos operadores, bem como um estudo em andamento para a realização de novos investimentos na linha de montagem pelo responsável da produção, permitiram a realização de estimações.

No posto 3, gargalo da linha e responsável pela cadência da produção, a utilização dos aspiradores no processo produtivo é menos significativa em termos de horas que no posto 2, mas a espera pela utilização dos aspiradores é grande, e esse posto ficando ocioso, compromete o andamento da linha. Assim, a redução do tempo de trabalho nesse posto com a adoção nesse posto com a instalação do sistema é uma hipótese plausível. Levando-se em conta as estimações e observações de tempos de espera pelo uso de aspiradores nesse posto, poder-se-ia supor uma redução de uma hora por KIT (cauda de helicóptero).

O custo da hora na linha de montagem é de cerca de 80 euros, segundo estudos para novos investimentos para melhoria na linha, realizado pelo responsável da produção e a equipe de implementação do Sistema de Produção Eurocopter.

Com uma cadência de três caudas por semana, e supondo a redução de uma hora no posto 3, gargalo da linha de produção, tem-se, portanto, um potencial de redução de custos da produção de 240 euros por semana, ou seja, 960 por mês.

### 6.7.1.3. O *payback*

Os ganhos com manutenção e produtividade de uma hora seriam capazes de liberar 1120 euros por mês no fluxo de caixa. Com tal fluxo, pode-se calcular o tempo para o pagamento total do investimento, o *payback*. Nesse caso, o uso do *payback* é interessante, pois se trata de um investimento onde o retorno consiste em uma redução de despesas, e não uma receita direta, e logo o argumento de que as reduções pagarão o investimento em um determinado período de tempo são mais consistentes.

Além disso, não se trata de uma comparação de investimentos com fluxos de caixa variáveis ao longo do tempo, o que poderia tornar o *payback* uma ferramenta não recomendada e a distorção da imagem de um investimento do ponto de vista da Engenharia Econômica. O *payback* será importante para mostrar em que momento da vida útil do sistema ele passará a gerar ganhos econômicos para a empresa, o que acaba preponderando muitas vezes nas análises e decisões sobre investimentos em muitas empresas.

Assim, atualizando-se ao valor presente os fluxos de caixa, com uma taxa de desconto equivalente ao custo médio ponderado do capital (WACC), ou seja, o quanto custa para a empresa para obter o capital necessário para investimentos e operações, pode-se calcular o *payback*. Tal valor foi extraído de EADS (2008), sendo de 9,5%.

$$P=U \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

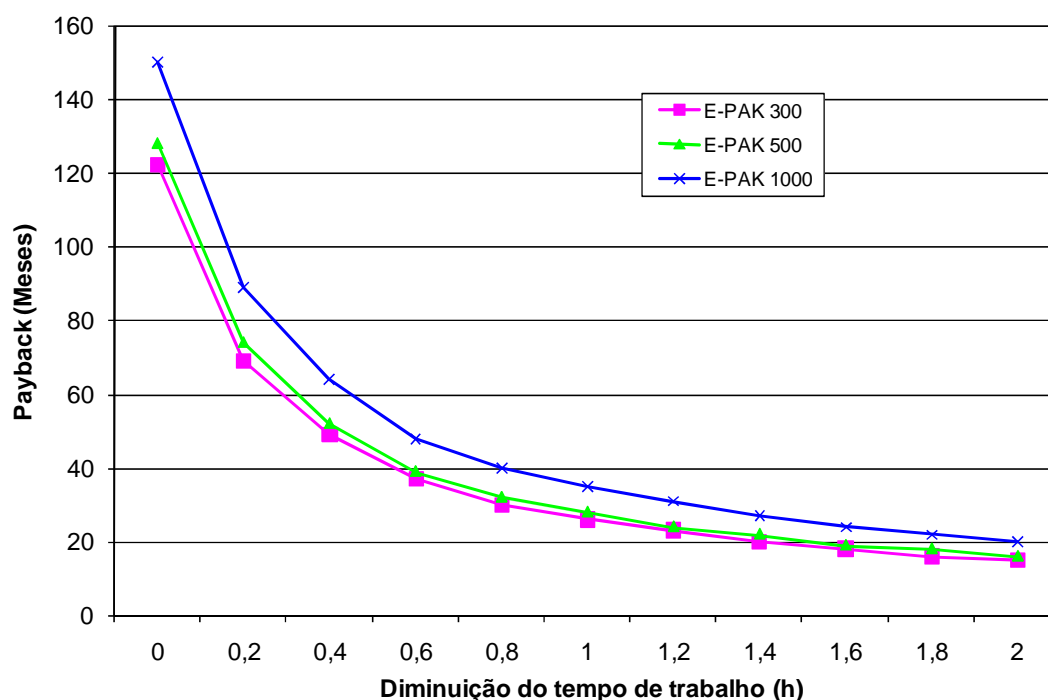
Nessa fórmula (1), P é o valor presente, U o valor da série de fluxo de caixa, i é a taxa de desconto e n é o número de períodos

A obtenção do prazo de retorno foi realizada utilizando-se a fórmula da Engenharia Econômica usada para trazer ao valor presente séries de fluxo de caixa uniformes, igualando-se o valor presente a zero, e calculando o número de períodos necessários para tal via Excel.

**Tabela 23 – Payback para uma diminuição de uma hora de trabalho no posto 3, de acordo com a unidade centralizada escolhida – Fonte : Elaborado pelo autor**

Unidade Centralizada	E-PAK 300	E-PAK 500	E-PAK 1000
Preço máquina	14 775,00 €	16 950,00 €	25 125,00 €
Preço elementos constituintes	9 291,00 €	9 291,00 €	9 291,00 €
Instalação	2 000,00 €	2 000,00 €	2 000,00 €
<b>Total</b>	<b>26 066,00 €</b>	<b>28 241,00 €</b>	<b>36 416,00 €</b>
WACC Anual	9,5%	9,5%	9,5%
Ganho	1 120,00 €	1 120,00 €	1 120,00 €
<b>Meses para recuperar investimento</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>38</b>

Os valores obtidos consideram uma redução de uma hora nas operações realizadas no posto 3, sendo essa uma suposição razoável. Contudo, se os ganhos em produtividade forem superiores, o tempo para pagar os investimentos realizados será reduzido e o investimento tornar-se-á cada vez mais interessante para a empresa, como pode ser visto no gráfico de análise de sensibilidade a seguir.



**Figura 51 – Payback em função do número de horas reduzidas no posto 3 – Fonte. Elaborado pelo autor**

Com a aquisição da unidade centralizada E-PAK 1000, o equipamento mais caro, o sistema seria pago em um prazo de três anos com a redução de uma hora nas atividades do posto 3. Em empresas onde esse tipo de sistema já é utilizado, como a *Bombardier Aerospace* em Belfast, Irlanda do Norte, o equipamento tem duração igual ou superior a dez anos, (NEDERMAN, 2008).

Assim, percebe-se que o sistema tem grande potencial de ganhos, levando-se em conta apenas ganhos tangíveis, mensuráveis rapidamente após a implementação. Todavia, deve-se levar em conta diversos aspectos menos tangíveis, mas que também trazem ganhos que poderão se traduzir em mais liberação de recursos e aumento de diminuição de saídas no fluxo de caixa, como melhorias na organização da linha de montagem de forma global e melhorias da qualidade do ambiente de trabalho, por exemplo.

#### **6.7.2. Os ganhos intangíveis**

A adoção de um sistema de aspiração centralizada permite a obtenção de melhorias no que diz respeito à qualidade do ar, à organização da linha de montagem com a presença de menos elementos e também na qualidade do processo, com o fornecimento de uma aspiração estável para a execução das operações. Todavia, tais melhorias não são medidas diretamente, e prever quais serão seus efeitos sobre a linha de montagem é extremamente complexo. Assim, uma boa maneira de obter estimativas e ideais é pesquisar como foi a implementação de sistemas da família E-PAK com braços articulados para operações muito semelhantes às da Eurocopter.

Dessa forma, alguns depoimentos foram extraídos de estudos de caso realizados pelo fornecedor em alguns de seus clientes, como a empresa *The New York Blower Company* (EUA), que tinha operações de desbaste em fibra de vidro e teve melhorias na limpeza e organização do chão de fábrica. Já a empresa *Kovovyroba Hoffmann* (República Tcheca), com operações de desbaste, teve melhorias importantes na qualidade do e níveis de ruído, bem como aumento na precisão do trabalho realizado com melhoria na qualidade de seus produtos.

Os resultados obtidos nessas empresas mostram que o sistema tem um forte potencial de gerar ganhos na linha de montagem, principalmente no que diz respeito à qualidade do ambiente de trabalho, o que é muito importante para que os operadores trabalhem mais e melhor. De fato, as reclamações dos operadores em relação às deficiências da aspiração na linha de montagem



são freqüentes, constituindo um dos fatores que estimulou a realização de uma análise para propor melhorias incrementais de curto prazo, na espera da solução final.

### **6.8. Resumo do capítulo**

Neste capítulo, o dimensionamento do sistema selecionado foi proposto. Assim, as necessidades técnicas foram parametradas e soluções adaptadas ao trabalho de cada posto foram escolhidas. A decisão relativa à capacidade de vazão da unidade centralizada não foi tomada, visto que os dados existentes sobre os tempos de trabalho não permitem a realização de uma análise conclusiva sobre esse ponto.

Os aspectos econômicos do sistema foram discutidos, com uma discriminação e detalhamento dos custos de implementação e uma análise dos ganhos potenciais, tangíveis e intangíveis. Isso permitiu mostrar que os investimentos são recuperados em um prazo de tempo curto considerando-se a vida útil do equipamento, e uma pesquisa sobre implementações similares mostrou que os benefícios do sistema são muito significativos, principalmente no que diz respeito à melhora do ambiente de trabalho.



## **7. CONCLUSÕES**

Neste capítulo, os próximos passos a serem realizados serão comentados, com uma proposição de planejamento das iniciativas a serem tomadas, bem como sua duração estimada, e pontos que não foram abordados no trabalho, mas podem dar seqüência a este.

Em seguida, será feito inicialmente um balanço do trabalho realizado, com a recapitulação do contexto de trabalho na empresa, bem como os pontos fundamentais que permitiram a realização do trabalho, que poderiam ser utilizados em novos estudo e trabalhos na empresa.

Para concluir, o autor traz alguns pontos pessoais, com um auto-crítica do seu trabalho, visando mostrar o que poderia ter sido realizado de outra maneira e como isso poderia ter influenciado o resultado obtido, bem como um balanço pessoal de aprendizagem com o trabalho realizado.

### **7.1. Próximos passos**

Com o sistema dimensionado em quase toda sua totalidade, pode-se abordar os próximos passos a serem executados. Assim, realizou-se um planejamento da implementação de todo o conjunto de soluções (planos de ação, possível adoção temporária de um equipamento portátil e implementação do equipamento centralizado com captação na fonte geradora). Além disso, iniciativas que podem dar seqüência ao trabalho também são comentadas.

#### **7.1.1. Planejamento da implementação**

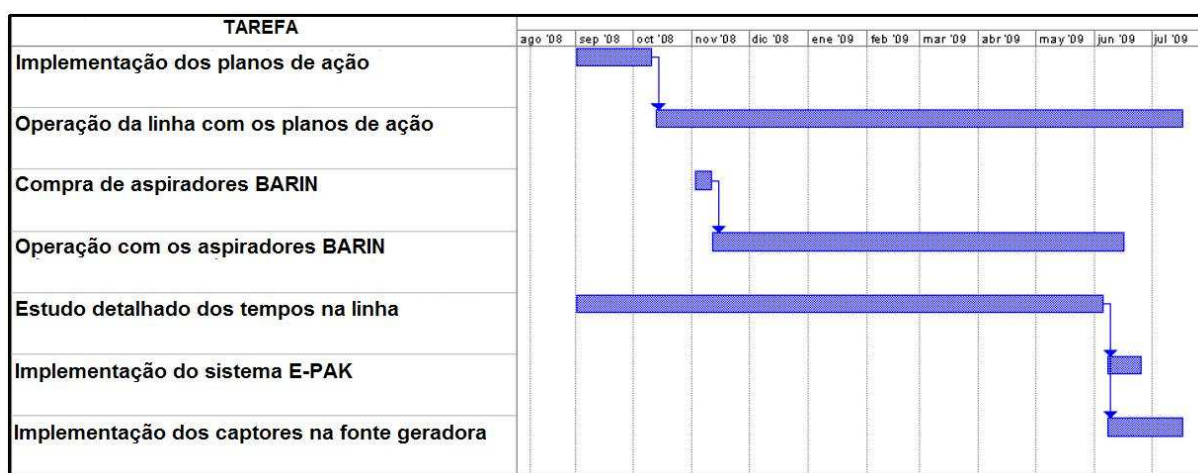
O estudo da implementação do sistema de aspiração para a linha de montagem das caudas do EC-135 foi feito em duas grandes etapas, de modo a estudar o processo e propor melhorias de curto prazo, ditas incrementais, e analisar as necessidades e restrições da linha de montagem, propor alternativas, avaliá-las e escolher a solução final, a ser implementada quando houver mais recursos para tal.

No que diz respeito às melhorias incrementais, os planos de ação podem ser implementados o mais rápido possível, de modo a verificá-los e realizar eventuais ações corretivas. O responsável pela produção, realizador de diversos estudos de melhorias globais na linha de montagem, pode coordenar o processo.

Paralelamente, testes com os aspiradores BARIN da linha de montagem final podem ser realizados para verificar a possibilidade de adiantamento da compra prevista na fase III de implementação em Albacete, de modo a utilizá-los provisoriamente no Hangar E. De fato, alguns testes foram realizados durante o período de férias na linha de montagem final, e os resultados foram bastante satisfatórios, permitindo maior continuidade no processo de aspiração graças ao sistema de filtração de caráter industrial desses modelos. Assim, a antecipação da compra de aspiradores BARIN para utilização provisória é tecnicamente factível.

Ao mesmo tempo, pode-se incorporar a questão da aspiração no estudo de tempos e padronização de métodos em curso pelo responsável da produção, que permitirá a obtenção de informações de dados importantes para traçar-se um perfil quantitativo mais preciso das necessidades de cada posto de trabalho, de forma a escolher a unidade centralizada E-PAK adequada, capaz de atender aos pontos de aspiração que trabalharem simultaneamente. A participação do fornecedor nesse estudo, com sua experiência, pode acelerar a obtenção de dados conclusivos.

Para cada grande etapa do estudo, existem algumas tarefas a serem feitas, não necessariamente em série, o que pode ser melhor visualizado no gráfico de Gantt a seguir, que posiciona no tempo as tarefas e atribui relações de precedência e concomitância entre elas.



**Figura 52 – Gráfico de Gantt da implementação das soluções de curto e longo prazo**

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Uma vez que os recursos estejam disponíveis, a implementação do sistema de aspiração centralizada pode ser feita em seis semanas, sendo quatro semanas para a chegada do

equipamento e duas para a realização das obras de instalação. Os captadores, se forem concebidos de forma personalizada, poderão chegar posteriormente.

### **7.1.2. Outras iniciativas**

As atividades principais envolvendo o planejamento do sistema de aspiração centralizada dimensionado nesse trabalho foram propostas, mas não se trata de um tema trabalhado à exaustão completa. De fato, mesmo depois de instalado e posto em operação, o sistema pode sofrer modificações, graças à instalação flexível de tubulações.

Além disso, pode-se expandi-lo se novos pontos de aspiração, notadamente no posto de trabalho 6, sejam julgados como necessários ou de interesse.

No que diz respeito às atividades do Hangar E, onde se encontra a linha de montagem das caudas do EC-135, uma expansão do sistema para a linha de montagem do modelo Tigre pode ser objeto de estudos, caso o layout da linha de montagem deste venha a sofrer alterações, ou decida-se pela instalação de outra linha de montagem de outro modelo em seu lugar. A ampliação da tubulação de postos de trabalho, ou mesmo a substituição da unidade centralizada ou aquisição de uma unidade suplementar são passíveis de serem realizados, avaliando-se mais uma vez o que será mais vantajoso técnico e economicamente.

Finalmente, a substituição ou acréscimo de tipos de ferramentas necessitando aspiração implicarão a reformulação ou ampliação dos captadores a serem utilizados, e os estudos sobre a utilização destes e um mapeamento de modos de falha para a proposição de correções a priori pode ser feita com a utilização do método FMEA.

## **7.2. Balanço do trabalho realizado**

No contexto atual de implementação na fábrica de Albacete, percebe-se que os esforços de construção de instalações exemplares para a Eurocopter, concebidas de forma a produzir com excelência em qualidade, respeito ao meio ambiente e de forma otimizada operacionalmente, conflitam com a necessidade de iniciar as linhas de montagem o mais rápido possível. Esses dois objetivos devem ser geridos de forma a evitar a implementação de uma usina problemática já no início de suas operações plenas.

O estudo realizado para analisar e propor melhorias e um sistema de aspiração mais adequado na linha de montagem das caudas do EC-135 é um reflexo desse conflito, onde se criaram

restrições de layout e organização do atelier antes de se analisar como os processos seriam organizados e executados. Os problemas gerados, que tinham efeitos imediatos, associados às reclamações e restrições orçamentárias atuais da empresa, estimularam uma análise mais profunda do processo e de seus problemas, de forma a propor soluções implementáveis a curto prazo. Buscou-se utilizar esse estudo preliminar como plataforma para a obtenção de informações das reais necessidades em aspiração da linha de montagem, para a melhor propor e avaliar alternativas para uma solução definitiva.

A concatenação entre esses dois esforços foi auxiliada com a utilização de um método de análise sistemático e exaustivo, o FMEA, que permitiu a organização e estruturação das informações, bem como um envolvimento de diversos atores, necessários em uma análise desse tipo. Como exemplo, pode-se tomar o estudo da possibilidade de antecipar a compra de equipamentos portáteis industriais, desencadeado pela utilização do FMEA, permitiu um maior conhecimento dos diferenciais desse tipo de equipamento, o que ajudou na pesquisa para a formulação das alternativas, bem para a obtenção de mais conhecimento sobre os equipamentos industriais de aspiração de uma forma geral.

Outro ponto importante do trabalho realizado foi a transversalidade apresentada em sua realização, com a participação dos operadores, do responsável pela produção, da equipe de manutenção, o fornecedor dos equipamentos atuais e futuros, e do estagiário, organizador do estudo e representante do departamento de Infra-Estruturas. Tal transversalidade permitiu uma conscientização maior da importância do problema, principalmente do departamento responsável pela produção das caudas, o qual incorporou o sistema de aspiração proposto como solução final nos planos de investimentos para 2009.

O envolvimento de todos permitiu um trabalho mais amplo, aplicado e prático. De fato, o objetivo do trabalho era chegar a uma solução adaptada à linha de montagem, e esse objetivo ditou o estudo, com a preferência por soluções mais simples, principalmente na formulação das propostas de melhorias incrementais e a utilização do critério “flexibilidade” na avaliação das alternativas para solução definitiva.

Finalmente, a realização do projeto mostrou que no contexto atual de implementação, uma troca de experiências mais intensa deve ocorrer entre as unidades de fabricação da empresa. De fato, questões que diziam respeito aos problemas existentes na Espanha já haviam sido tratadas na França.

### 7.3. Lições aprendidas do método de trabalho

Grosso modo, o objetivo do projeto era estudar um problema para depois trazer uma solução. A empresa estava interessada no “que” seria feito, mas a realização do estudo mostrou que o “como” também foi importante, e algumas práticas podem ser replicadas e utilizadas na realização de novos estudos :

- **Busca de informações sobre as outras unidades de fabricação**: Durante a realização do trabalho, informações sobre equipamentos utilizados em outras unidades de fabricação do grupo foram utilizadas. Em uma empresa internacional e diversificada como a Eurocopter e o grupo EADS, a troca e disponibilização de informações e experiências são muito importantes, de modo a capitalizar experiências já vivenciadas e ganhar tempo.

- **FMEA**: A realização do FMEA foi importante para compreender melhor o processo de forma estruturada e propor melhorias para os modos de falha mais críticos. Deve-se, porém, buscar realizar o FMEA antes do início de um processo ou utilização de um equipamento, e sua utilização pode ser feita nos seguintes contextos:

- Metodologia para a realização de estudos de processos no departamento de Infra-Estruturas. A manutenção é um dos pilares do departamento, e a metodologia FMEA é uma ferramenta de análise interessante nos estudos de manutenção preventiva.
- Realização de estudos colaborativos para o design e melhoria de processos e produtos de maneira mais estruturada e eficiente.

### 7.4. Dificuldades encontradas e auto-crítica

O resultado do trabalho foi um estudo detalhado do que seria um sistema adequado de aspiração capaz de satisfazer as necessidades da linha de montagem das caudas dos helicópteros modelo EC-135, no Hangar E das instalações de Albacete. Segundo representantes da empresa, os resultados foram bastante satisfatórios e terão cunho prático, entrando na pauta de investimentos possivelmente já em 2009.

Contudo, algumas dificuldades surgiram na execução do trabalho, e apesar dos bons resultados apresentados e uma possível reutilização de práticas adotadas para sua obtenção,

bem como reflexões sobre o que poderia ter sido feito de maneira diferente e melhor existiram.

Primeiramente, foi necessário o contato com diferentes pessoas e um esforço para conscientizá-las da importância de um estudo mais profundo, capaz de evidenciar as influências do processo de aspiração no processo de montagem das caudas. De fato, um estudo conduzido e coordenado por um estagiário não é algo tão comum na Espanha, principalmente se esse for um estrangeiro que não tem o espanhol como idioma nativo, o que dificultou um pouco o processo no início.

Além disso, a obtenção e consolidação de dados de forma relativamente homogênea na empresa ainda não são uma característica encontrada na empresa, visto que as operações foram iniciadas recentemente e ainda estão em fase de consolidação. Tal problema pôde ser constatado principalmente no que diz respeito ao dimensionamento do sistema e na escolha da unidade centralizada, que não pode ser realizada com segurança devido à ausência de dados mais precisos sobre tempos de produção. Assim, o estudo adquiriu um caráter menos quantitativo.

Quando o problema foi efetivamente formulado, iniciou-se um trabalho de mapeamento do processo e decomposição dos equipamentos em subsistemas, de modo a executar o FMEA, sendo essa a ferramenta escolhida dado seu caráter de análise sistemático. Nesse contexto, ignorou-se inicialmente o papel dos responsáveis pela produção, os quais se mostraram muito importantes posteriormente com o fornecimento de informações sobre novos investimentos na fábrica e estudos de tempos. Se tal efetivo tivesse sido contatado anteriormente, o estudo do processo poderia ter sido realizado de maneira mais eficiente com mais ênfase na obtenção de dados quantitativos, ao invés de um mapeamento inicial das tarefas, as quais já eram conhecidas pelo departamento da Produção de Caudas, mesmo não sendo formalizados. Faltou, portanto, mais colaboração no início do processo, que poderia implicar em um comprometimento maior e um trabalho mais apurado.

Por outro lado, um ponto muito importante foi a visita do fornecedor dos equipamentos atuais, a IPCleaning, representada pelo Sr. Miguel Soriano, o qual foi importante para a proposição das melhorias incrementais e estudo para a formulação de alternativas para uma solução final. De fato, a empresa IPCleaning iniciou o processo de dimensionamento de um sistema



centralizado após a escolha deste, que infelizmente não foi enviado até o término do estágio na Espanha.

Finalmente, com a apresentação de um problema e uma decisão praticamente arbitrária por parte do Departamento de Infra-Estruturas sobre a questão da aspiração, buscou-se desenvolver o tema para que os métodos utilizados fossem estudados e a visão fosse mais imparcial possível. Todavia, devido a um período curto de estágio e ainda mais curto no desenvolvimento desse trabalho especificamente, tal esforço não pode ser realizado plenamente segundo a visão do autor.

### **7.5. Balanço pessoal**

A realização do estágio permitiu a obtenção de conhecimentos mais detalhados do funcionamento da fábrica, principalmente no que diz respeito aos elementos de apoio às atividades principais. Essa experiência foi muito interessante, principalmente levando em conta o contexto de implementação da fábrica, onde estudos de concepção ainda são realizados, bem como estudos de melhoria, o que permitiu a vivência de problemas encontrados em uma fábrica nova.

No que diz respeito ao trabalho realizado, foi uma oportunidade interessante para trabalhar diretamente com o pessoal do chão de fábrica, o que foi muito enriquecedor por permitir conhecer a visão deles do trabalho realizado e dos problemas encontrados. Além disso, o trabalho envolveu diversos atores, com a presença de variáveis técnicas e humanas, e assim foi necessário ter uma abordagem sistêmica, uma das competências fundamentais de um Engenheiro de Produção.

Finalmente, a possibilidade de trabalhar na Espanha foi uma ocasião de aprendizado de cultura de trabalho, com diferenças se comparado ao que é encontrado no Brasil e na França., onde estagiários são mais comuns. De fato, o fato de não haver uma afinidade com a presença de estagiários foi um problema no começo, principalmente para uma integração real às atividades do departamento. Contudo, tal “liberdade” permitiu a criação própria da estrutura do estudo e logo uma visão menos arbitrária do problema, mais analítica e crítica, o que foi importante na pesquisa por métodos de resolução do problema e desenvolvimento de habilidades relacionais.

## **7.6. Resumo do capítulo**

Nesse capítulo buscou-se apresentar as conclusões do trabalho, com uma descrição das etapas a serem realizadas na implementação do trabalho após a fase de estudos e análises, no que constitui o “C” do ciclo PDCA, já que o trabalho realizado foi essencialmente anterior à implementação das propostas de melhoria e do sistema de aspiração escolhido e dimensionado.

Em seguida, buscou-se mostrar quais foram os principais valores agregados na realização do trabalho, e quais elementos de análise poderiam ser incorporados em outras atividades da empresa, com ênfase na realização de análise FMEA para o estudo de processos principalmente, antes da implementação desses, e uma busca maior de trabalho cooperativo com outras unidades de fabricação da empresa, mais antigas, que certamente têm experiências semelhantes de problemas e resolução destes.

Finalmente, realizou-se uma auto-crítica do trabalho realizado, mostrando onde houve dificuldades, e o que foi feito para contorná-las e o que poderia ter sido feito de outra maneira e possivelmente melhor. Além disso, um balanço pessoal foi feito, principalmente pelo caráter internacional do estágio realizado, concluindo assim o trabalho de formatura.

## LISTA DE REFERÊNCIAS

BARIN. **SISTEMAS DE EXTRACCIÓN EN LAS HERRAMIENTAS MANUALES Y LIMPIEZA INDUSTRIAL POR ALTO VACÍO**. Madrid – Espanha, 2007. Disponível em: < <http://www.barin.es/medioambiente/aspiracionenlaherramienta.aspx>>. Acesso em: 19 jun. 2008.

BOUER, G. **FMEA – AMEF – Análise dos tipos de falhas e seus efeitos**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.35p. Notas de aula do curso PRO 2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos.

CHABAUD, C. **Tâche attendue et obligations implicites**. Toulouse – França, 1990.

DARSES,F ; REUZEAU, F. in FALZON, P et al. **Ergonomia**. 1ª. Edição. São Paulo. Ed. Blucher, 2007.

DESOUTTER. **Ergonomics and the workplace**. Chicago – EUA , 2004. Disponível em : < <http://www.pneumatictoolsonline.com/DesoutterTools/CP-PDFFiles/Ergosense%2BDesoutter%2Bguide.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2008.

EADS. **Book 2 - Financial Statements and Corporate Governance 2007**. Paris – França, 2008.Disponível em: < [http://www.eads.com/1024/en/investor/Reports/Current\\_Publications.html?display\\_media=/xml/content/OF00000000400004/4/13/41983134.pdf](http://www.eads.com/1024/en/investor/Reports/Current_Publications.html?display_media=/xml/content/OF00000000400004/4/13/41983134.pdf)>. Acesso em: 07 ago. 2008.

EHRlich, P. J. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento**. 6ª. Edição. São Paulo. Ed. Atlas, 2005.

FALZON, P. et al. **Ergonomia**. 1ª. Edição. São Paulo. Ed. Blucher, 2007.

GRUPO 17. **Evaluación Higiénica de la exposición a materia particulada presente en la fracción inhalable**. Albacete – Espanha, 2008. (Estudo técnico)

GUERIN, F. et al. **Compreender o trabalho para transformá-lo : a prática da ergonomia**. 2ª. Edição. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1997.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos : aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores**. 7ª. Edição. São Paulo. Ed. Atlas, 2000.

IPCLEANING. **Aspiradores Industriales**. Santa Perpetua de Mogoda – Espanha, 2008. Disponível em: < [http://www.ipcleaning.net/data/att/catalogo/settori/att\\_258200814286.pdf](http://www.ipcleaning.net/data/att/catalogo/settori/att_258200814286.pdf) >. Acesso em: 15 jun. 2008.\*

LEPPÄNEN, M. **Nederman - High Vacuum systems CASE STORIES – Case 21 Finn-Marín Ltd.** Finlândia, 2002. Disponível em: < <http://www.nederman.com/sitecore/shell/Controls/Rich%20Text%20Editor/~/media/PDF%20files/Cases/CS21.ashx> >. Acesso em 27 jun. 2008.

MILLANVOYE, M. in FALZON, P et al. **Ergonomia**. 1ª. Edição. São Paulo. Ed. Blucher, 2007.

NEDERMAN. **High, mid or low vacuum – we master them all**. Suécia, 2008. Disponível em: <<http://www.nederman.com/~/media/E71E37E1A5084E3A8C75A34689E52C71.ashx>>. Acesso em: 05 jul. 2008.

PALADY, P. **FMEA : análise dos modos de falha e efeitos : prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3ª. Edição. São Paulo. Instituto IMAM, 2004.

PESNEL, E. **Maintenance**. Champs-sur-Marne – França, *Ecole Nationales des Ponts et Chaussées*, 2005. 544p. Notas de aula do curso *Maintenance*.

SPANESI. **CABINAS Y ZONAS DE PREPARACION**. Madrid - Espanha, 2008. Disponível em: < [http://www.spanesi.es/catalogo/pdf/5\\_01.pdf](http://www.spanesi.es/catalogo/pdf/5_01.pdf) >. Acesso em: 06 jun. 2008.

SHELLEY, S. **Preventing Dust Explosions: Are You Doing Enough?**. Chemical Engineering Progress. 01 Mar. 2008.

VEYRAC, H. **Approche ergonomique des représentations de la tâche pour l'analyse d'utilisations de consignes dans des situations de travail à risques**. Toulouse – França, 1998.

## **APÊNDICE A –Questionário de orientação de coleta de dados**

### **Dados qualitativos**

- Quais são as etapas do processo que utilizam a aspiração?
- Nas etapas que a utilizam, a aspiração é intrínseca às tarefas realizadas?
- Quais são as operações e como a aspiração é utilizada em cada etapa?
- Quais são os tipos de materiais aspirados?
- Existe espera para a utilização dos equipamentos?
- Quais equipamentos são usados atualmente para efetuar a aspiração?
- Quais são os principais problemas encontrados no processo?
- Quais são as principais falhas dos equipamentos utilizados?

### **Dados quantitativos**

- Qual é a frequência de utilização dos aspiradores ?
- Quais são os tempos aproximados de utilização em cada etapa do processo ?
- Quais são a vazão e a depressão fornecidas pelos aspiradores ?
- Qual é a frequência de manutenção dos equipamentos ?
- Quanta matéria é aspirada aproximadamente em cada etapa ?
- Qual é o perímetro de aspiração das peças em cada etapa ?



## APÊNDICE B – Comparativo de aspiradores portáteis

Tabela 24 – Comparativo de aspiradores portáteis – Fonte : Elaborado pelo autor

Equipamentos portáteis - Tabela comparativa					
Dados comerciais					Atual
Fornecedores	Nilfisk CFM	Barin	Barin	Nederman	IPCleaning
Modelo	137/60	DC1800a	DC2800a	P300I	Mirage 1640 P
Tipo	Aspirador industrial	Aspirador industrial	Aspirador industrial	Aspirador industrial	Aspirador profissional
Foto					
					
Características técnicas					
Potência (W)	3x1000	1400	1400	2x1200w	3x 1100
Vazão (m³/h)	492	190	190	300	510
Depressão (kPa)	21	24	24	22	21,57
Limpeza de filtros	Vibrações	Fluxo de ar invertido	Fluxo de ar invertido	Fluxo de ar invertido	Fluxo de ar invertido
Filtro	filtro Fin (1,95m²) filtro HEPA (1,05m²)	filtro Fin (1,5m²) filtro HEPA (0,85m²)	filtro Fin (1,5m²) filtro HEPA (0,85m²)	filtro 0,95m² filtro HEPA	Poliéster
Eficácia	99,995%	99,995%	99,995%	99,997%	99,000%
Depósito	60	15	40	32	62
Emissões sonoras db(A)	73	70	68	75	72
Componentes					
Mangueira (m)	5	5	5	5	2,5
Φ Mangueira (mm)	50	38	38	38	38
Dimensões					
Comprimento (cm)	79	38	45	58	59
Largura (cm)	65	38	55	60	60
Altura (cm)	135	740	106	1230	98
Peso (kg)	62	10	19	36	28
Preço	2 792,00 EUR	735,00 EUR	1 323,00 EUR	1 814,40 EUR	473,00 EUR
Garantia	1 ano	1 ano	1 ano	2 anos	2 anos





ANEXO A – Organograma da Eurocopter

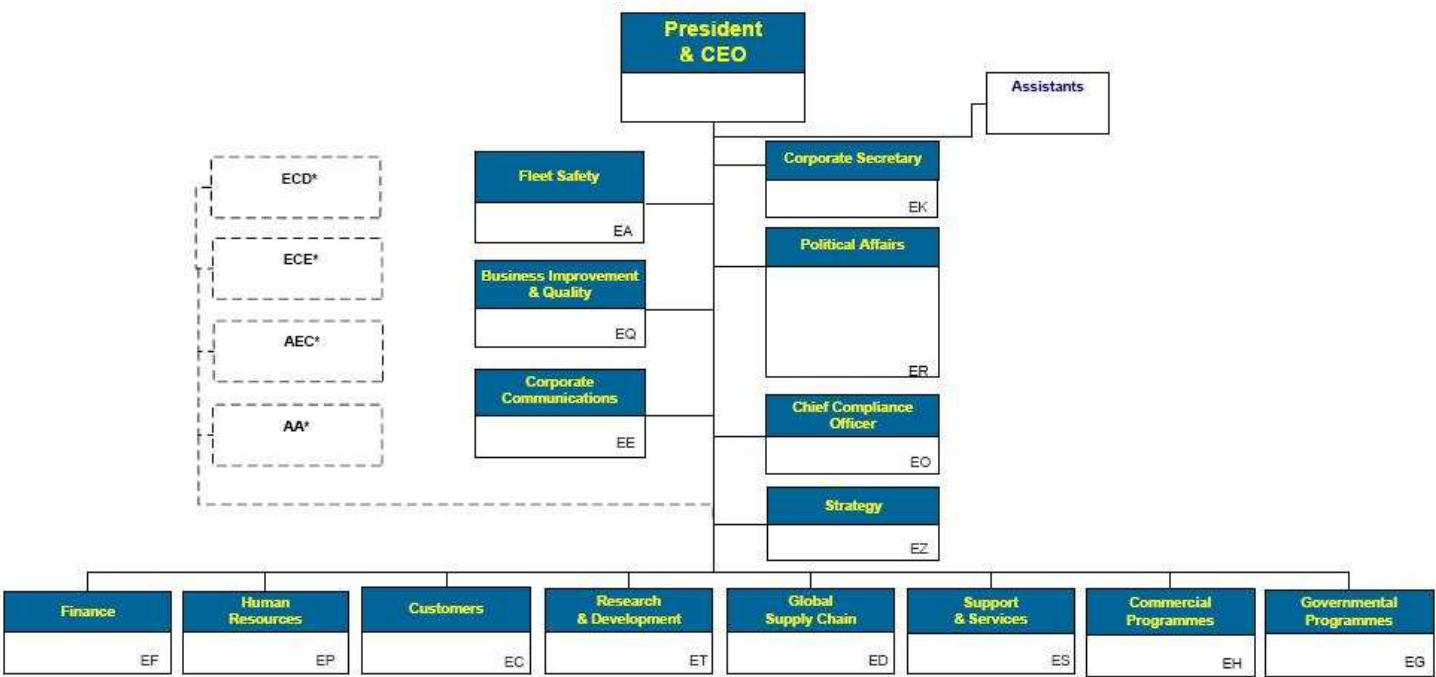


Figura 53 – Organograma Eurocopter – Fonte: Eurocopter



## ANEXO B – Ficha de Homologação de captor em Marignane




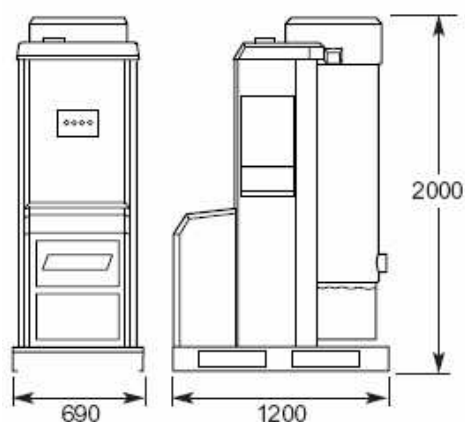
 <b>eurocopter</b> <small>an EADS Company</small>	<b>Kit de perçage ATLAS COPCO</b>	
Fiche outillage N° 004		
<div style="text-align: center; background-color: #00FF00; padding: 5px;"><b>VALIDE</b></div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Enregistrée le: 03/06/04</span> <span>Contact LMP: Galant hervé (5) 8176</span> </div>		
<p><b>Le Kit est composé d'une perceuse modèle LBB16 et d'un carter d'aspiration de poussière</b></p>		
<b>Commentaires du laboratoire</b>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1; padding-right: 10px;"> <p>Ce kit a fait l'objet d'un développement de la part d'ATLAS COPCO pour les besoins d'EUROCOPTER, lors de perçages en atmosphère propre de salle de collage. Il a été testé dans des conditions réelles de fabrications avec d'excellents résultats, idéalement prévu pour l'utilisation de foret aléseur (dague).</p> </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div>		
Coordonnées fournisseur	<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVENIENT</b>
ATLAS COPCO 95054 Cergy pontoise Tel: 04 72 47 09 17	+ Faible encombrement + Léger + protection du personnel + plus besoin de phase d'aspiration de poussière	- longueur mini du foret 85 mm (possibilité de modifier le kit)
Références outils		
perceuse: LBB16EP033                      350 euros carter d'aspiration pour LBB16                      249 euros		

Figura 54 – Ficha de Homologação de captor em Marignane – Fonte: Eurocopter



## ANEXO C – Especificações de Equipamento Nederman E-PAK

### Technical data E-PAK units

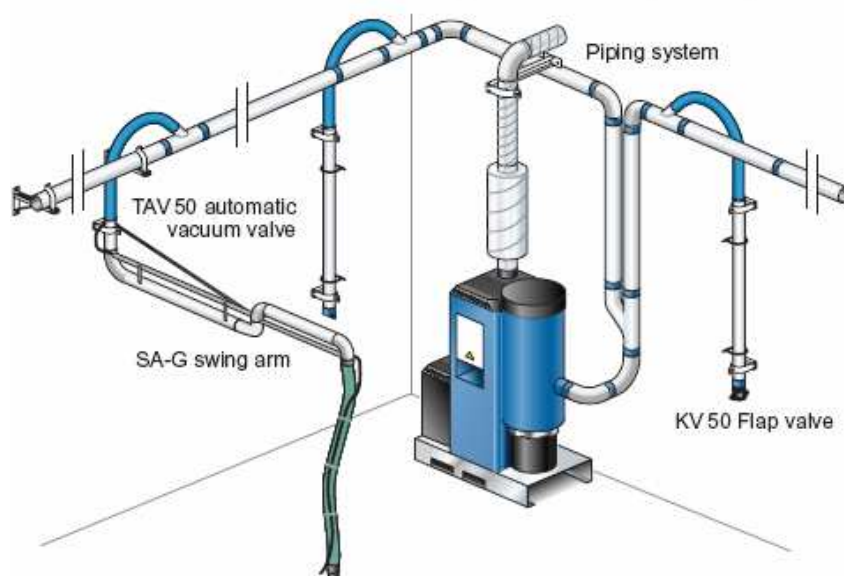


Model		E-PAK 150	E-PAK 300	E-PAK 500
Power	kW	3	5,5	13
Capacity free blowing	m³/h	270	450	860
Capacity at -15 kPa	m³/h	110	290	500
Maximum vacuum	kPa	-25	-25	-25
Filter surface	m²	3	3	3
Filter life	h	4000-6000	4000-6000	4000-6000
Noise level ISO*	dB(A)	63	64	67
Weight	kg	194	235	333

Filtration according to BIA category U, S, G, C.

\* at 1 m

### Valves and swing arms complete your E-PAK system



#### Automatic vacuum valves admit 3-4 times more users.

E-PAK is part of a system that can include automatic vacuum valves, flap valves and swing arms.

Automatic vacuum valves offer substantial benefits in most installations.

The valve opens automatically when extraction is required and closes again when there is no extraction need. No suction capacity is wasted on tools or welding guns that are not in operation.

Time studies show that a tool (sanding, grinding, cutting) or a torch seldom is in use more than 25-30 % of the working time.

The valves save energy, reduce suction noise and ensure the suction power is available where and when it is needed. If no valve is open, your E-PAK stops.

The swing arm offers maximum convenience when working with on-tool or on-torch extraction. The design ensures that the arm smoothly follows the hand tool.

#### Environmental information

- Low power consumption with automatic start/stop.
- Solvent-free washing and lacquering.
- Halogen-free (PVC-free) cables.
- Recyclable up to 91-95% (weight) depending on type.

#### Accessories

- Discharge air silencer Ø 100 mm
- Maintenance switch
- Plastic sack 70 litre (25 pcs pack)
- Service hour meter
- Week timer
- Compressed air switch

**Nederman**<sup>®</sup>  
Improving your workspace

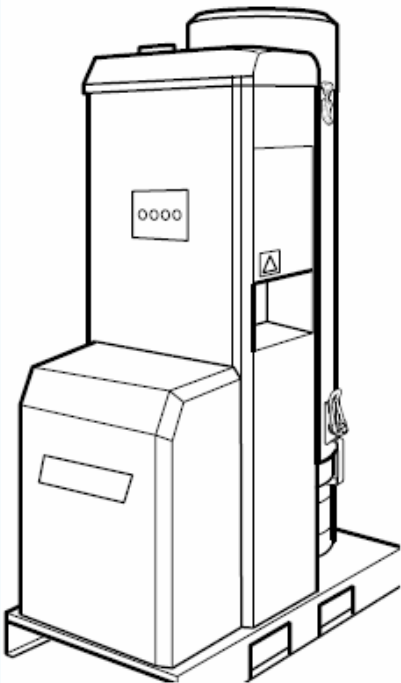
Manufacturer:  
**TEDAK AB**  
Svista  
SE-635 02 Eskilstuna, Sweden



Rights reserved for modification of design and measurements.

# Technical Description

## E-Pak 1000 AS Vacuum System

	Description	Part Number
	<b>E-PAK 1000 AS</b>  <b>Application:</b> On-torch extraction for welding fumes, small grinding, sanding and cutting tools. Stationary or semi-portable installation.  <b>Power:</b> 10-25 hp  <b>Capacities:</b> Free blowing: 824 cfm Max vacuum: 80 in. W.G. Design: 600 cfm at 60 in W.G.  <b>Description:</b> Vacuum unit with direct driven side channel fan fitted as one unit on a steel profile frame together with direct starter, control unit and integrated 24 V transformer. Automatic start/stop, automatic filter cleaning. 60 liter/ 15.5 gallon bin with wheels.  <b>Noise Level:</b> Max 68dB(A) at specified capacity (ISO 11201)  <b>Filter:</b> Two stage separation. Central inlet with velocity reduction feature and bag type fine filters. Automatic filter cleaning by reversed air pulse. Filter area: 3.4m <sup>2</sup> / 32 sq. ft.  <b>Dimension:</b> L X W X H: 1500 X 800 X 2050mm/ 59 X 32 X 81 in.  <b>Weight:</b> 430 kg / 950 lb	
	<b>E-PAK 1000</b> Voltage: 3 X 460 V 60Hz Switch disconnect M33-KG41	40 0514 90 40 1223 00

## ANEXO D – Orçamento de Sistema de Aspiração Centralizada

CLIENTE: EUROCOPTER

ATT.: FENANDO DE-MOURA

Nº OFERTA: 1677/Val

FECHA 31/07/2008

PROYECTO

**Nederman**  
improving your workspace

### TELEFONOS

Tel.: 91 659 24 30 Fax.: 91 651 33 94  
DELEGACION LEVANTE  
TEL: 661.917.251-FAX: 962.772.882  
e-mail: [jesus.rodriguez@nederman.es](mailto:jesus.rodriguez@nederman.es)  
[www.nederman.es](http://www.nederman.es)



PAG. 1

CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DTO.	IMPORTE
		<p><b>SISTEMA CENTRALIZADO ASPIRACIÓN ALTO VACIO</b></p> <p><b>OFERTA ORIENTATIVA DE PRECIOS NO VINCULANTE A FALTA DE PROYECTO Y AUTORIZACION EX Y CONSIGUIENTE OFERTA DEFINITIVA SI PROCEDE</b></p>			
1	40050290	<p>UNIDAD COMPACTA DE ASPIRACIÓN CENTRALIZADA NEDERMAN FlexPAK 1000 DX 400V 50Hz CON PANEL DE ALIVIO DE EXPLOSIÓN</p> <p>Aplicaciones: Limpieza industrial, extracción de humo de soldadura en torcha, extracción de polvo en trabajos de lijado, pulido y herramientas de corte. Instalación fija o semiportátil.</p> <p>Capacidad: 1.000 m3/h para -15 kPa. Caudal libre: 1.300 m3/h. Máximo vacío: - 20 kPa.</p> <p>Descripción: Unidad de aspiración de canal lateral por transmisión directa con variador de frecuencia y caja de control PLC integrados. Aspirador y filtro fijado sobre una misma bancada de hierro junto con el arrancador Y/D, con transformador de 24V. Arranque/paro automático, limpieza de filtros automática, programador semanal, programador de mantenimiento y funcionamiento en ralentí para mínimo consumo. Contenedor de 70 l. con ruedas.</p> <p>El sistema lógico de control optimiza el consumo en función del grado de uso. Potencia: 6,3-18,5 kW. Ruido (ISO 11201): Máx 70 dB(A) para la capacidad especificada. Filtro: 2 etapas de separación. Entrada central con reductor de velocidad y filtros finos de mangas de polipropileno. Limpieza automática del filtro por impulsos de aire inverso. Superficie filtración 6 m2. Dimensiones: LxAxH=1612x966x2033 mm. Peso: 413 kg. Conexión E/S: Ø200/160. Voltaje 3 x 400 V. 50 Hz.</p>	33.500,00	25	25.125,00
1	12374401	<p>VÁLVULA DE AISLAMIENTO ANTI EXPLOSIÓN Ø100 mm</p> <p>Para utilización con equipos de aspiración en zonas ATEX</p>	4.970,00	25	3.727,50



CLIENTE: EUROCOPTER

ATT.: FENANDO DE-MOURA

Nº OFERTA: 1677/Val

FECHA 31/07/2008

PROYECTO

**Nederman**

Improving your workspace

TELEFONOS

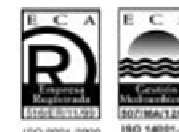
Tel.: 91 659 24 30 Fax.: 91 651 33 94

DELEGACION LEVANTE

TEL: 661.917.251-FAX: 962.772.882

e-mail: [jesus.rodriguez@nederman.es](mailto:jesus.rodriguez@nederman.es)

[www.nederman.es](http://www.nederman.es)



PAG. 2

CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DTO.	IMPORTE
2	40181040	<p>Para utilización con equipos de aspiración en zonas ATEX. Incrementa la seguridad de la instalación, aislando cualquier posible propagación de una retro explosión hacia la zona ATEX.</p> <p><b>BRAZO PIVOTANTE SA-G 600</b> Aplicación: Usados para obtener la máxima accesibilidad. Los brazos pivotantes SA-G se usan para aplicaciones de lijado y amolado con extracción en la propia herramienta. Descripción: El brazo pivotante está diseñado con dos rótulas, construido con tubería de 60 mm el primer tramo del brazo y de 50 mm la parte externa del brazo. El brazo pivotante está equipado con conducto de aire comprimido. Es ideal para usarlos con válvulas automáticas. Montaje: altura recomendada del suelo a manguera 1,5 m Altura recomendada montaje soporte: 4,5 m Componentes incluidos: manguera flexible de 3 metros (para amolar). Manguera aire comprimido (no incluye acoplamientos rápidos). Alcance 8 metros incluyendo la manguera de trabajo. Peso: 33Kg. Max. carga en extremo brazo 5 Kg. Longitud total: 6000 mm. Primer tramo brazo 3250 mm. Parte externa brazo 2620 mm.</p>	1.445,00	25	2.167,50
5	40146450	<p><b>VÁLVULA MANUAL DE TAPA KV 50</b> Aplicación: Se puede fijar directamente en las bajantes de la instalación o en mangueras. Está diseñada para aplicaciones de soldadura, limpieza de suelos, lijado y amolado cuando no se precisen válvulas automáticas. Está fabricada con material plástico conductor de electricidad. Los acoplamientos machos de diámetro 50 se fijan directa y fácilmente a la válvula manual. Para montaje en tubería lisa de acero. Se incluye 1 manguito de unión a tubería de Ø63mm referencia 40130970.</p>	50,00	25	187,50
5	40141550	<p><b>KIT AS MICRO INTERRUPTOR</b> Para Arranque/Paro automático de unidades de vacío con válvulas KV 50 y TAV 50.</p>	38,00	25	142,50
4	40131070	<p><b>CURVA 90° Ø100mm</b> Modelo corto</p>	46,00	25	138,00



CLIENTE: EUROCOPTER

ATT.: FENANDO DE-MOURA

Nº OFERTA: 1677/Val

FECHA 31/07/2008

PROYECTO

**Nederman**

Improving your workspace

TELEFONOS

Tel.: 91 659 24 30 Fax.: 91 651 33 94

DELEGACION LEVANTE

TEL: 661.917.251-FAX: 962.772.882

e-mail: [jesus.rodriguez@nederman.es](mailto:jesus.rodriguez@nederman.es)

[www.nederman.es](http://www.nederman.es)



PAG. 3

CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DTO.	IMPORTE
7	40130390	TUBERÍA Ø 100 PARA INSTALACIONES DE ALTO VACÍO: TRAMO DE 6 M Fabricada en acero galvanizado en caliente por inmersión y pulido. Para instalación de conducciones principales. Longitud suministro: 6 metros. Peso aprox. 2,3 kg/m. Espesor aprox.: 1,2 mm.	120,00	25	630,00
5	40130600	DERIVACIÓN 100-100-63 mm Derivación de acero cincado para conectar bajantes o brazos pivotantes al conducto principal. Peso: 1,5 Kg. Espesor: 2,0 mm. Longitud: 280 mm. Ramal: 45°.	45,00	25	168,75
25	40139370	ACOPLAMIENTO ENTRE TRAMOS DE TUBERÍA Ø 102 mm Compuesto de un manguito metálico con 2 tornillos de ajuste e inserto interior de goma para sellado estanco. El inserto es de goma conductora de la electricidad por lo que no es necesario cables extra de toma de tierra para evitar la electricidad estática en la red de tuberías.	13,00	25	243,75
5	40139350	ACOPLAMIENTO ENTRE TRAMOS DE TUBERÍA Ø 63 mm Compuesto de un manguito metálico con 2 tornillos de ajuste e inserto interior de goma para sellado estanco. El inserto es de goma conductora de la electricidad por lo que no es necesario cables extra de toma de tierra para evitar la electricidad estática en la red de tuberías.	11,00	25	41,25
5	40130901	TRAMO DE 1 METRO MANGUERA NEDERMAN P-63 Manguera flexible de plástico azul con espiral blanca plastica y cable de cobre. Con superficie interior lisa. Usada para conectar bajantes del conducto principal o para conectar tuberías donde no pueden ser metálicas. Máxima temperatura -25° C +50° C. Diámetro interior 63 mm.	27,00	25	101,25
3	40130420	TUBERÍA Ø 63 PARA INSTALACIONES DE ALTO VACÍO: TRAMO DE 3 M. Fabricada en acero galvanizado en caliente por inmersión y pulido. Para instalación de bajantes y terminales de conducciones principales. Longitud suministro: 3 metros	43,00	25	96,75

**CLIENTE:** EUROCOPTER

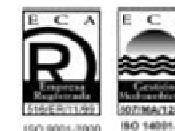
**ATT.:** FENANDO DE-MOURA

**Nº OFERTA:** 1677/Val

**FECHA:** 31/07/2008

**PROYECTO**

**TELEFONOS**  
Tel.: 91 659 24 30 Fax.: 91 651 33 94  
**DELEGACION LEVANTE**  
TEL: 661.917.251-FAX: 962.772.882  
e-mail: [jesus.rodriguez@nederman.es](mailto:jesus.rodriguez@nederman.es)  
[www.nederman.es](http://www.nederman.es)



PAG. 4

CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DTO.	IMPORTE
		Longitud suministrada: 3 metros. Peso aprox. 1,8 kg/m. Espesor aprox.: 1,2 mm.			
1	40130630	DERIVACIÓN 100-100-100 mm Derivación de fundición de aluminio para conectar varios ramales de tubería. Peso: 2,5 Kg. Espesor: 2,0 mm. Longitud: 350 mm. Ramal: Alineado	105,00	25	78,75
1	40130700	REDUCCIÓN 150-100 mm Reducción fabricada en acero galvanizado en caliente por inmersión y pulido. Peso: 0,5 kg Longitud: 145 mm Espesor: 2,0 mm	60,00	25	45,00
1	40130950	MANGUITO DE UNIÓN Ø150 mm Usado para empalmar tramos de tubería. Se incluyen 2 abrazaderas	14,00	25	10,50
2	40130040	TERMINAL Ø100 mm Se emplea para tapar el extremo de tuberías de alto vacío.	8,00	25	12,00
TOTAL SIN IVA EUROS .....					32.916,00

**CLIENTE:** EUROCOPTER

**ATT.:** FENANDO DE-MOURA

**Nº OFERTA:** 1677/Vai

**FECHA:** 31/07/2008

**PROYECTO**

**Nederman**

*Improving your workspace*

**TELEFONOS**

Tel.: 91 659 24 30 Fax.: 91 651 33 94

**DELEGACION LEVANTE**

TEL: 661.917.251-FAX: 962.772.882

e-mail: [jesus.rodriguez@nederman.es](mailto:jesus.rodriguez@nederman.es)

[www.nederman.es](http://www.nederman.es)



PAG. 5

CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DTO.	IMPORTE
		<p>SE EXCLUYE:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- IVA</li><li>- OBRAS DE ALBAÑILERÍA</li><li>- ACOMETIDAS ELECTRICAS Y NEUMÁTICAS HASTA NUESTROS EQUIPOS</li><li>- INSTALACIÓN DE LAS ANTERIORES PARTIDAS</li></ul> <p>FORMA DE PAGO:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- RECIBO DOMICILIADO 60 DÍAS FECHA FACTURA.</li></ul> <p>VALIDEZ DE LA OFERTA 60 DIAS</p> <p><u>VALIDEZ DE LA OFERTA: 60 DÍAS</u></p> <p>CONFORME EL CLIENTE.....</p> <div></div> <p>FIRMA Y SELLO</p> <p>LOS EQUIPOS OFERTADOS CUENTAN CON DOS AÑOS DE GARANTÍA CONTRA TODO DEFECTO DE FABRICACIÓN EXCLUYENDO MANO DE OBRA Y TRANSPORTES</p> <p>NO SE ADMITIRÁ LA ANULACIÓN DE UN PEDIDO CON POSTERIORIDAD A LAS 48 HORAS DE SU RECEPCIÓN</p> <p>NEDERMAN IBÉRICA, S.A. NO SE RESPONSABILIZA DE LA DESCARGA Y ALMACENAJE DE LOS MATERIALES ARRIBA OFERTADOS . EL CLIENTE EFECTUARÁ ESTAS OPERACIONES, DE ACUERDO CON LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE.</p> <p>EN AQUELLOS CASOS EN LOS QUE LA OFERTA NO INCLUYA INSTALACIÓN POR PERSONAL TÉCNICO DE NEDERMAN. EL CLIENTE SE HACE RESPONSABLE DE LA COMPROBACIÓN DEL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS SUMINISTRADOS.</p> <p>La información de carácter personal que se ha recabado de Vd. directamente o de fuente accesible al público, está incluida en un fichero cuyo responsable es Nederman Ibérica S.A. (Avda. Camino de lo Corrao 34 Nave 5 -28709 San Sebastian de los Reyes (Madrid)). Si desea ejercer sus derechos de acceso, rectificación y cancelación, puede ponerse en contacto con Nederman Ibérica .</p>			