

# Metodologia de análise de equipamentos industriais com vista à sua manutenção

L. Morais <sup>(1)</sup>, L.A. Ferreira <sup>(1)</sup>  
[mmi03019@fe.up.pt](mailto:mmi03019@fe.up.pt), [lferreir@fe.up.pt](mailto:lferreir@fe.up.pt)

(1) Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

---

## Resumo

A manutenção é uma das funções mais importantes de uma empresa, através dela é possível manter ou restabelecer um equipamento num estado ou em condições próprias de segurança de funcionamento para este realizar a função que lhe é requerida. Quando bem organizada e programada, é um factor muito importante para a qualidade, segurança, redução de atrasos e produtividade das empresas, ou seja, para a competitividade das empresas.

No âmbito do projecto *SITEM* foi então criada uma metodologia para a análise de equipamentos industriais, visando a sua manutenção, tendo em conta os critérios definidos no *RAMS*. Esta é composta pelas seguintes treze etapas: 1. Definição do sistema a analisar, 2. Descrição funcional do sistema, 3. Divisão do sistema, 4. Realização do diagrama funcional do sistema, 5. Identificação da (s) avaria (s) do sistema e subsistemas, 6. Realização de uma análise *HAZOP* e selecção dos subsistemas para aplicação de um estudo *FMECA*, 7. Definição dos critérios de severidade, ocorrência e detectabilidade para o sistema, 8. Realização da análise *FMECA*, 9. Realização da árvore de falhas, 10. Realização da matriz criticidade, 11. Realização da árvore de eventos (se necessário), 12. Realização da análise de Pareto e 13. Aplicação da metodologia *RCM* e planeamento da manutenção. Esta metodologia permite definir qual o sistema a analisar, a sua descrição funcional e a sua constituição. Permitindo ainda, através da utilização de ferramentas como a *análise HAZOP*, *FMECA* e análise de *PARETO*, entre outras, e recorrendo a metodologias como o *RCM*, conhecer os componentes críticos dos equipamentos e proceder à elaboração dos respectivos planos de manutenção.

Foi considerada a aplicação desta metodologia aos electrofiltros utilizados nas indústrias de produção de pasta de papel permitindo, desta forma, conhecer quais os componentes críticos desse equipamento e quais as acções de manutenção a implementar.

---

## 1. Introdução

A manutenção é uma das funções mais importantes de uma empresa, e também uma das mais dispendiosas, como tal deve ser merecedora de especial atenção. Através dela é possível manter ou restabelecer um equipamento num estado ou em condições próprias de segurança de funcionamento para este realizar a função que lhe é requerida.

A manutenção quando devidamente organizada e programada é um factor de extrema importância para a qualidade, segurança, redução de atrasos e produtividade das empresas, contribuindo desta forma para o desenvolvimento e competitividade das empresas.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto *SITEM* - Sistema Integrado de Engenharia e Gestão da Manutenção de Instalações e Equipamentos Industriais, que é um Projecto apoiado pelo *PRIME* – Programa de Incentivos à Modernização da Economia, Medida 3.1A – Projectos Mobilizadores para o Desenvolvimento Tecnológico e é desenvolvido por um Consórcio, constituído pelos seguintes Co-Promotores: *ALSTOM Portugal, S.A.* (Promotor Líder), *Celulose Beira Industrial, (CELBI), S.A.*, *CPPE* – Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade, *S.A.*, *FEUP* – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, *ISQ* – Instituto de Soldadura e Qualidade e *PORTUCEL* – Empresa Produtor de Pasta e Papel, *S.A.*

No âmbito do projecto SITEM e da actividade desenvolvida pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto neste projecto, foi apresentada uma metodologia de análise de equipamentos (doc. SITEM/FEUP 012/SP/05) [1]. Esta metodologia permite conhecer quais os componentes críticos e modos de falha críticos dos equipamentos por forma a implementar acções de manutenção, ou a aplicação de técnicas de monitorização que eliminem esses modos de falha ou reduzam as suas consequências. Permite ainda, a partir da análise efectuada fornecer informações aos fornecedores desses equipamentos para que estes possam proceder a melhorias na fase de projecto dos equipamentos, tornando-os mais “apetecíveis” no acto da aquisição.

## 2. Metodologia para a análise de equipamentos industriais

Para proceder à análise da manutenção de equipamentos industriais de acordo com os pressupostos *RAMS* (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), e para a tornar mais eficiente e eficaz, foi desenvolvida a metodologia de análise proposta de seguida [1].

A metodologia compreende as treze etapas seguintes:

1. Definição do sistema a analisar;
2. Descrição funcional do sistema;
3. Divisão do sistema;
4. Realização do diagrama funcional do sistema;
5. Identificação da (s) avaria (s) do sistema e subsistemas;
6. Realização de uma análise *HAZOP* e selecção dos subsistemas para aplicação de um estudo *FMECA*;
7. Definição dos critérios de severidade, ocorrência e detectabilidade para o sistema;
8. Realização da análise *FMECA*;
9. Realização da árvore de falhas;
10. Realização da árvore de eventos (se necessário);
11. Realização da matriz criticidade;
12. Realização da análise de Pareto;
13. Aplicação da metodologia *RCM* e planeamento da manutenção.

A etapa 1 consiste em indicar qual o sistema e respectivos equipamentos sujeitos à análise, bem como, reunir toda a informação relativa ao sistema, permitindo ao engenheiro da manutenção entender o sistema, o seu contexto operativo, as suas funções, as funções dos seus componentes e as suas ligações funcionais. Definem-se assim, as fronteiras da análise.

Para proceder à realização desta etapa, é necessário obter o seguinte: desenhos de projecto, esquemas do sistema, diagramas funcionais, descrições do sistema (caso existam), histórico de avarias e falhas (equipamento existente), histórico de avarias e falhas de equipamentos iguais ou semelhantes e com funções iguais ou semelhantes (caso de aquisição de equipamentos), lista de componentes, especificações de componentes e informações dadas pelos fornecedores e/ou fabricantes (caso existam).

Na etapa 2 define-se a função e operação do sistema, identificando claramente a função de cada subconjunto e as ligações funcionais entre eles.

Na etapa 3 procede-se à divisão do sistema de forma lógica, clara e objectiva, em subsistemas, destes em conjuntos, que por sua vez, são divididos em subconjuntos e por fim, divididos em componentes, para identificar claramente os vários componentes e as suas ligações funcionais.

A etapa 4 consiste na realização do diagrama funcional do sistema. Este mostra graficamente a relação funcional entre os diferentes subsistemas, permitindo identificar rapidamente as funções dos diferentes subsistemas e a sua relação funcional.

Na etapa 5 procede-se à identificação e definição das avarias que podem ocorrer no sistema e seus subsistemas.

A etapa 6 consiste na realização de uma análise *HAZOP* (*Hazard and Operability Studies*) e posterior selecção dos subsistemas para a aplicação de uma análise *FMECA* (*Failure Modes, effects and criticality analysis*).

Com a análise *HAZOP* pretende-se identificar os riscos que podem surgir num determinado sistema ou que resultam das interacções entre um sistema e um processo industrial, aplicando a cada subsistema um conjunto de palavras-chave e determinando as consequências nas condições operativas desse subsistema e consequentemente do sistema [2]. Seguidamente, e mediante a análise realizada, procede-se à selecção dos subsistemas para a aplicação da análise *FMECA*.

A etapa 7 consiste em definir os critérios de severidade, ocorrência e detectabilidade para o sistema e todos os seus subsistemas, de forma a realizar análise de criticidade. Assim, para definir os critérios de severidade é necessário conhecer a gravidade dos efeitos dos modos de falha no sistema e nos diferentes níveis hierárquicos em que este se encontra dividido, bem como nos seus operadores. Para definir os critérios de ocorrência é necessário obter a probabilidade de avaria, dado que esta representa o número relativo de avarias dos componentes, devendo as empresas ter dados suficientes de fiabilidade do sistema que está a ser analisado. E por fim, para estabelecer os critérios de detectabilidade é muito importante verificar se existe, por parte do controlo da máquina e/ou do operador, a capacidade de detectar a existência de uma avaria antes de esta ocorrer.

Na etapa 8 procede-se à realização da análise *FMECA*. Esta resulta da implementação de um procedimento através do qual se analisam os potenciais modos de falha de um sistema para determinar os seus resultados ou efeitos no sistema, para os classificar de acordo com a sua severidade e para os ordenar de acordo com a influência combinada da severidade com a sua probabilidade de ocorrência. É então possível, identificar todos os modos de falha que são críticos para o sistema, bem como, fornecer a informação necessária para seleccionar a estratégia de manutenção mais adequada para solucionar esses modos de falha [3].

Para elaborar uma análise *FMECA*, é necessário dar resposta às seguintes questões:

- 1 – De que forma pode cada componente ou peça avariar? (Modos de falha)
- 2 – O que pode causar esses modos de avaria? (Causas da falha)
- 3 – Que efeitos podem advir se a avaria ocorrer? (Efeitos da falha)
- 4 – Qual a gravidade desses modos de avaria? (Severidade da falha)
- 5 – De que forma podem ser detectados cada um dos modos de avaria? (Detectabilidade).

Depois de realizada a análise *FMECA*, procede-se à realização da árvore de falhas, que corresponde à etapa 9. Esta consiste numa técnica gráfica que fornece uma descrição sistemática da combinação de modos de falha dos equipamentos e/ou de falhas humanas que conduzem a um modo de falha particular de um determinado sistema. O modo de falha particular desse sistema, é designado por “acontecimento principal”, porque é o acontecimento indesejável e responsável pelas consequências mais adversas no sistema. Após a selecção deste acontecimento principal a árvore de falhas é construída relacionando sequencialmente os acontecimentos dos níveis inferiores que individualmente ou combinados conduzem a esse acontecimento. Estes são denominados acontecimentos de base, porque são acontecimentos independentes uns dos outros e têm probabilidade conhecida.

De notar que, uma árvore de falhas não é um conjunto de todas as falhas ou avarias que podem ocorrer no sistema, e sim um modelo da interacção lógica entre os acontecimentos que conduzem ao acontecimento principal.

A etapa 10, realização da árvore de eventos, apenas será concretizada caso se pretenda saber quais os possíveis cenários de sequências de acontecimentos que conduzem a consequências muito graves, resultantes de uma avaria ou de um acontecimento indesejável. No entanto, caso seja necessário proceder à sua realização deve-se ter em conta que a construção de uma árvore de eventos se baseia na lógica binária, na qual um acontecimento só pode ter dois estados, isto é, ou o acontecimento se verificou ou não. Iniciando-se a sua construção pelo acontecimento que leva ao mau funcionamento, designado por

acontecimento inicial. De seguida, avaliam-se as consequências do acontecimento através de diferentes cenários possíveis, conseguidos pela sequência ou combinação de avarias dos diferentes dispositivos que a ele conduzem. Tal como nas árvores de falhas, podem-se associar probabilidades a cada um dos caminhos de forma a determinar a probabilidade de ocorrência desse acontecimento inicial.

Na etapa 11 elabora-se a matriz criticidade. Esta insere-se no contexto da segurança e análise de risco. Assim, para que a análise de risco seja possível, devem-se definir, primeiramente, as categorias tipo para a frequência de ocorrência dos acontecimentos potencialmente perigosos, e seguidamente, as consequências das situações potencialmente perigosas. O número de níveis considerados e a escala numérica utilizada, deve ser definida pela entidade. Após definidos os níveis de ocorrência e severidade, o risco é avaliado pela combinação da frequência de ocorrência de um acontecimento potencialmente perigoso com a severidade das suas consequências determinando assim o nível de risco resultante dum acontecimento potencialmente perigoso. Por fim, deve-se considerar um critério para a aceitação do risco, sendo que o mais frequentemente utilizado é o designado princípio “ALARP”, “*As Low As Reasonably Practicable*”, ou seja, o princípio “O mais baixo quanto razoavelmente praticável”.

Para seleccionar os modos de falha dos componentes dos subsistemas críticos que são responsáveis pela maior parte das suas avarias procede-se à realização da análise de *Pareto*. Esta é realizada com base no princípio de *Pareto*, o qual enuncia que apenas uma pequena percentagem de factores (20 %) são responsáveis pela ocorrência de grande parte dos problemas (80 %).

Por fim, para o estabelecimento de planos de manutenção, com as respectivas tarefas de manutenção e intervalos de manutenção, executa-se a etapa 13 da metodologia. Esta, através da aplicação da metodologia *RCM (Reliability Centered Maintenance)* permite a identificação e determinação de tarefas de manutenção preventivas que asseguram a operação dos equipamentos de acordo com os seus objectivos de projecto e fiabilidade inerente no seu actual contexto operativo.

A aplicação do processo de RCM envolve a resposta às sete questões seguintes de forma satisfatória e na sequência indicada para cada um dos bens seleccionados para análise:

- 1 – Quais as funções e performances do bem no seu actual contexto operativo? (funções)
- 2 – De que formas é um bem incapaz de cumprir as suas funções? (falhas funcionais)
- 3 – O que causa cada avaria funcional? (modos de falha)
- 4 – O que acontece quando cada avaria ocorre? (efeitos da falha)
- 5 – Qual a importância de cada avaria? (consequências das avarias)
- 6 – O que pode ser feito para evitar ou prever cada avaria? (tarefas preventivas e intervalos das tarefas)
- 7 – O que deve ser feito caso não se determine a tarefa preventiva adequada? (acções correctivas).

### **3. Aplicação da metodologia aos electrofiltros utilizados nas indústrias de produção de pasta de papel**

#### **3.1. Funcionamento de um electrofiltro**

Os electrofiltros são equipamentos que permitem a captação das partículas dos gases de combustão provenientes de caldeiras de recuperação. Estes recorrem à utilização de forças electrostáticas para separar as partículas dos gases de combustão provenientes da caldeira de recuperação. Assim, pode-se dizer que o funcionamento de um electrofiltro se resume a três passos, o primeiro designado por ionização de partículas, consiste em dar às partículas dos gases uma carga negativa através do “fornecimento” de electrões por parte dos denominados eléctrodos emissores, o segundo designado por captura de partículas, consiste em captura as partículas nos denominado eléctrodos colectores e por fim o terceiro designado por

remoção de partículas, que consiste na remoção das partículas dos eléctrodos colectores por processos mecânicos, visto estarmos em presença de electrofiltros secos.

### **3.2. Constituição de um electrofiltro**

Todos os electrofiltros são constituídos essencialmente por:

- Eléctrodos emissores, que são tubos metálicos que criam o campo eléctrico para a criação de electrões;
- Eléctrodos colectores, que são placas metálicas carregadas positivamente para capturar as partículas;
- Equipamentos de alta tensão, fornecem a tensão para a criação do campo eléctrico;
- Martelos, removem as partículas dos eléctrodos colectores por batimento;
- Fundos, alojam os transportadores de fundo, promovendo o armazenamento temporário e o transporte das partículas;
- Válvula rotativa, efectua a descarga das partículas do electrofiltro para os transportadores externos;
- Estrutura do electrofiltro, suporta e protege todos estes elementos.

### **3.3. Implementação da metodologia**

A metodologia aqui apresentada foi então aplicada na análise dos electrofiltros utilizados nas indústrias de produção de pasta de papel, de forma a identificar os subsistemas prioritários para a manutenção e a estabelecer as tarefas de manutenção [4].

Apresentam-se de seguida o desenvolvimento das diferentes etapas nesta análise. Todas elas poderão ser consultadas na íntegra no documento SITEM/FEUP 043/TR/05 [4]. Para todas elas, quando necessário, foi considerado como exemplo o subsistema “Geração de campo eléctrico”, por se revelar o subsistema mais crítico.

#### **3.3.1. Definição do sistema a analisar**

Foi definido como sistema a analisar os electrofiltros da caldeira de recuperação, considerando ainda que este integra as válvulas de disco, os transportadores de fundo, os transportadores de corrente internos, as válvulas rotativas, os dois transportadores de corrente externos e os exaustores.

#### **3.3.2. Descrição funcional do sistema**

Define-se nesta etapa apenas a função e operação dos subsistemas definidos na etapa anterior, estando a descrição funcional do sistema elaborada na íntegra no documento SITEM/FEUP 043/TR/05 [4]. Assim, a descrição funcional é a seguinte:

- O electrofiltro efectua a captura das partículas dos gases de combustão provenientes da caldeira de recuperação;
- As válvulas de disco permitem ou impedem a passagem dos gases provenientes da caldeira de recuperação, ou permitem ou impedem a sua saída do electrofiltro;
- Os transportadores de fundo transportam as partículas capturadas para os transportadores de corrente internos;
- Os transportadores de corrente internos conduzem as partículas às válvulas rotativas;
- As válvulas rotativas, para além de assegurarem a estanqueidade do interior em relação ao exterior, permitem a descarga das partículas nos transportadores de corrente externos;
- Os transportadores externos de corrente encaminham as partículas para um tanque misturador;
- Os exaustores impulsionam os gases de combustão livres de partículas para a chaminé.

### 3.3.3. Divisão do sistema

Para os electrofiltros analisados foram considerados 10 subsistemas, os quais são: válvulas de disco, casing, distribuição dos gases, captura de partículas, remoção de partículas, descarga de partículas, transporte externo, exaustão, geração do campo eléctrico e ar de selagem.

Na figura 1 apresenta-se, como exemplo, a divisão do subsistema “Geração do campo eléctrico” nos dois conjuntos “Unidade Integrada” e “T/R”. Estes foram divididos nos diferentes componentes que os constituem, porque não era exequível a sua divisão em subconjuntos.

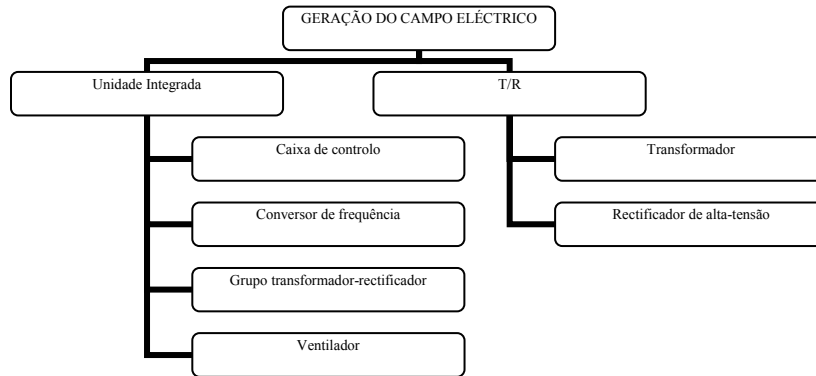


Figura 1 – Divisão do subsistema “Geração do campo eléctrico”

### 3.3.4. Realização do diagrama funcional do sistema

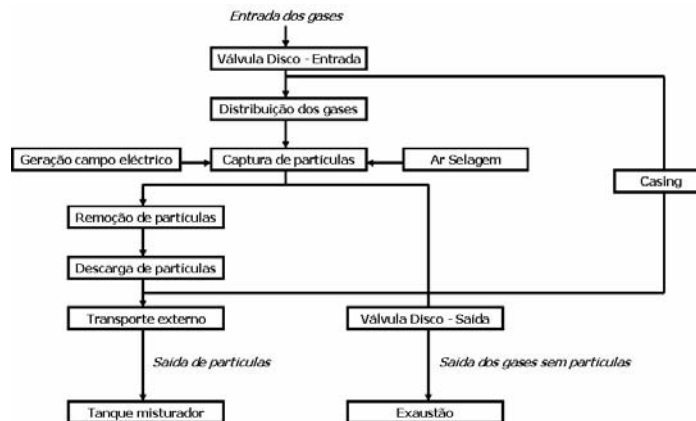


Figura 2 – Diagrama de blocos funcional do sistema

### 3.3.5. Identificação da (s) avaria (s) do sistema e subsistemas

Para o sistema “Electrofiltro” foi considerada como avaria a emissão de partículas para o meio ambiente superior a 150 mg/Nm<sup>3</sup>.

Para os subsistemas foi considerada como avaria, o não cumprimento da função requerida. Considerando o subsistema de geração do campo eléctrico, admitiu-se que este se encontrava num estado de avaria quando: não fosse fornecida a tensão para a geração do campo eléctrico e quando não fosse efectuado o controlo dos parâmetros de geração do campo eléctrico, dos transportadores, dos martelos e do subsistema do ar de selagem.

### 3.3.6. Realização de uma análise HAZOP e selecção dos subsistemas para aplicação de um estudo FMECA

Apresenta-se, a título de exemplo, uma parte da análise HAZOP realizada ao subsistema “Geração de campo eléctrico”.

HAZOP Item	Subsistema	Atributo	Palavra – chave	Causa	Consequência	Protecção	Acção
50	Geração do campo eléctrico (Unidade Integrada)	Geração campo eléctrico	Não	- Avaria do conversor de frequência e do grupo transformador – rectificador do conjunto “Unidade Integrada”	- Não existe a formação do campo eléctrico		- Substituir o conversor de frequência e/ou o grupo transformador – rectificador

Quadro 1 – Exemplo da análise HAZOP para o subsistema “Geração do campo eléctrico”

Da análise HAZOP realizada concluiu-se que os subsistemas mais problemáticos e que deveriam ser considerados em detalhe para a realização de um estudo FMECA seriam: captura de partículas, remoção de partículas, descarga de partículas, exaustão e geração do campo eléctrico. Isto porque, a eventual avaria de alguns componentes destes subsistemas faz com que o electrofiltro permita a emissão de partículas acima do valor limite imposto pela legislação, sendo desta forma vitais para o funcionamento do electrofiltro.

### 3.3.7. Definição dos critérios de severidade, ocorrência e detectabilidade para o sistema

Nos quadros seguintes podem-se observar os critérios utilizados para a definição dos critérios de severidade, ocorrência e detectabilidade. Assim, para a severidade foi considerada a emissão de partículas para o meio ambiente, por ser uma indicação do dano causado pelo mau funcionamento do electrofiltro.

Muito Grave	Emissão de partículas para a atmosfera superior a 150 mg/m <sup>3</sup> N	3
Aceitável	Emissão de partículas para a atmosfera entre 137,73 mg/m <sup>3</sup> N e 150 mg/m <sup>3</sup> N	2
Marginal	Emissão de partículas para a atmosfera até 137,73 mg/m <sup>3</sup> N	1

Quadro 2 – Classificação da severidade

Para a detectabilidade foi considerada a capacidade de detecção de avaria.

Não detectável	A avaria não é detectada pelo controlo da máquina e/ou pelo operador	2
Detectável	A avaria é detectada pelo controlo da máquina e/ou pelo operador	1

Quadro 3 – Classificação da detectabilidade

Por fim, para a ocorrência foi considerada a taxa de avarias, por permitir uma classificação clara e objectiva desta.

Muito Alta	Taxa de avarias superior a $268/10^6$ h e inferior ou igual a $377/10^6$ h	6
Alta	Taxa de avarias superior a $204/10^6$ h e inferior ou igual a $268/10^6$ h	5
Moderada	Taxa de avarias superior a $73.8/10^6$ h e inferior ou igual a $204/10^6$ h	4
Baixa	Taxa de avarias superior a $22.5/10^6$ h e inferior ou igual a $73.8/10^6$ h	3
Muito baixa	Taxa de avarias superior a $22.2/10^6$ h e inferior ou igual a $22.5/10^6$ h	2
Remota	Taxa de avarias inferior ou igual a $22.2/10^6$ h	1

Quadro 4 – Classificação da ocorrência

### 3.3.8. Realização da análise FMECA

Apresenta-se no quadro 5 uma parte do quadro do FMECA construído para o subsistema “Geração do campo eléctrico”, conjunto “Unidade Integrada”.

Componente	Função	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da falha			Taxa de avarias ( $\lambda$ )	Prob. Condicional de ocorrência ( $\beta$ )	Contribuição ( $\alpha$ )	Tempo de operação (t)	Criticidade ( $\beta^* \alpha^* \lambda^* t$ )
				Subconjunto	Subsistema	Sistema					
Caixa de Controlo	Controlar os parâmetros de criação do campo eléctrico	Disjuntor abre o circuito	Excesso de corrente eléctrica	Não é efectuada a geração do campo eléctrico	Não é efectuada a captação de partículas	Emissão total de partículas para o meio ambiente	27,998	0,361	0,21	8000	16980
Conversor de Frequência	Adequar a frequência às necessidades dos dispositivos	Fusível queimado	Sobrecarga eléctrica	Não é efectuada a geração do campo eléctrico	Não é efectuada a captação de partículas	Emissão total de partículas para o meio ambiente	0,911	0,361	0,25	8000	658
Grupo Transformador-Rectificador	Realiza a transformação e rectificação da corrente eléctrica	Baixa tensão	Curto-circuito no interior do electrofiltro	Não é efectuada a geração do campo eléctrico	Não é efectuada a captação de partículas	Emissão total de partículas para o meio ambiente	67,952	0,361	0,095	8000	18643
Ventilação	Promove a refrigeração	Ventilação obstruída	Sujidade	Não se efectua a refrigeração do SIR	Não é efectuada a captação de partículas	Emissão total de partículas para o meio ambiente	17,106	0,361	0,05	8000	2470

Quadro 5 – Secção do quadro FMECA para o componente “ventilador”

### 3.3.9. Realização da árvore de falhas

Considerando a árvore de falhas do electrofiltro para o modo de falha “emissão de partículas acima do limite legal” e procedendo à sua análise, verificou-se que a taxa de avarias do electrofiltro será de 1340 avarias por  $10^6$  h, isto porque estarmos na presença de uma porta lógica “OU”, assim a taxa de avarias do electrofiltro é calculada somando as taxas de avarias dos subsistemas que o compõem e se encontram no nível inferior, e para que este modo de falha ocorra apenas é necessário que um destes subsistemas tenha uma avaria num qualquer dos seus componentes.

A etapa 10, “Realização da árvore de eventos”, não foi realizada por não existir a necessidade de construção de árvore de eventos.

### 3.3.10. Realização da matriz criticidade

Para a realização da matriz criticidade foram considerados os critérios de severidade e de ocorrência definidos na etapa 7. Assim, pode-se observar a matriz criticidade do sistema na figura 3.



Severidade	Probabilidade de ocorrência					
	Remota	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Muito Grave		CPE, CPR				GCE
Aceitável	DPVR	CPE, CPR	RPAB, RPCD, DPTC	VDE, VDS	E	
Marginal				VDE, VDS		

Figura 3 – Matriz criticidade do sistema

Em que:

- CPE – Captura de partículas/conjunto emissor
- CPR – Captura de partículas/conjunto receptor
- RPAB – Remoção de partículas/Transportadores A/B
- RPCD – Remoção de partículas/Transportadores C/D
- DPTC – Descarga de partículas/Transportador de corrente
- DPVR – Descarga de partículas/Válvula rotativa
- E – Exaustão
- GCE – Geração do campo eléctrico
- VDE – Válvula de disco da entrada
- VDS – Válvula de disco da saída.

Da análise da figura 3 pode-se verificar que os subsistemas críticos são: geração do campo eléctrico e exaustão.

### 3.3.11. Realização da análise de Pareto

Aplicando a análise de Pareto ao subsistema de risco crítico “Geração do campo eléctrico”, verificou-se que para o conjunto “Unidade Integrada” os modos de falha e componentes críticos são os exemplificados no quadro 6.

<i>Modos de falha</i>	<i>Componentes</i>
Rectificador dispara	Grupo Transformador – Rectificador
Motor eléctrico avariado	Ventilador
Condensador inoperativo	Grupo Transformador – Rectificador
Baixa tensão	Grupo Transformador – Rectificador
Curto-circuito entre espiras no transformador (Óleo degradado)	Grupo Transformador – Rectificador
Curto-circuito entre espiras no transformador (Fuga de óleo)	Grupo Transformador – Rectificador
Fusível queimado	Grupo Transformador – Rectificador
Curto-circuito	Grupo Transformador – Rectificador
Disjuntor abre o circuito	Caixa de controlo
Microprocessador inoperativo	Caixa de controlo

Quadro 6 – Componentes e modos de falha críticos do conjunto “Unidade Integrada” do subsistema “Geração do campo eléctrico”

Para o conjunto “T/R” do mesmo subsistema os componentes e respectivos modos de falha críticos estão exemplificados no quadro 7.

<i>Modos de falha</i>	<i>Componentes</i>
Rectificador dispara	Rectificador de alta tensão
Curto-circuito	Rectificador de alta tensão
Condensador inoperativo	Rectificador de alta tensão
Curto-circuito entre espiras no transformador	Transformador

Quadro 7 – Componentes e modos de falha críticos do conjunto “T/R” do subsistema “Geração do campo eléctrico”

### 3.3.12. Aplicação da metodologia RCM e planeamento da manutenção

Seguindo o diagrama de decisão proposto no documento SITEM/FEUP 043/TR/05 [4] e a informação existente na análise FMECA realizado, verificou-se que os subsistemas considerados críticos apresentam avarias evidentes (detectabilidade = 1) e severidade maior ou igual a 2.

Para o cálculo da frequência das tarefas de manutenção propostas foi calculado o MTBF (*Mean Time Between Failure*) para cada um dos componentes, aproximando os dados das taxas de avarias destes a uma distribuição de Weibull a dois parâmetros pelo método da máxima verosimilhança.

No quadro seguinte resumem-se as tarefas de manutenção propostas para o subsistema “Geração do campo eléctrico”.

<i>Sistema:</i> Electrofiltro		<i>Subsistema:</i> Geração do campo eléctrico	
<i>Conjunto</i>	<i>Componente</i>	<i>Tarefa Proposta</i>	<i>Frequência</i>
Unidade Integrada	Ventilador	Verificar a obstrução do canal de ventilação pelo pó e proceder à sua limpeza.	A cada 20699 h (aprox. 2 anos e meio)
	Ventilador	Proceder à substituição do motor do ventilador.	
	Grupo Transformador/ Rectificador	Verificar a possibilidade de ocorrência de curto-circuitos no electrofiltro, bem como, o nível do óleo dos transformadores e a existência de eventuais fugas quer do óleo quer do material electrolítico do condensador.	A cada 5123 h (aprox. 8 meses)
	Grupo Transformador/ Rectificador	Proceder a testes de bom funcionamento dos componentes das unidades SIR nas paragens anuais.	A cada 8000 h (paragens anuais)
	Caixa de controlo	Verificar o funcionamento da caixa de controlo, realizando testes para o controlo da tensão e corrente, bem como para a comunicação de dados para o RTU.	A cada 16985 h (aprox. 2 anos)
T/R	Rectificador de alta-tensão	Verificar a possibilidade de ocorrência de curto-circuitos, bem como o nível do óleo nos transformadores e a existência de possíveis fugas.	A cada 2418 h (aprox. 4 meses)
	Rectificador de alta-tensão	Proceder a testes de bom funcionamento dos T/R.	A cada 8000 h (paragens anuais)

Quadro 8 – Tarefas de manutenção propostas para o subsistema “Geração do campo eléctrico”

#### **4. Conclusão**

Através da aplicação desta metodologia aos electrofiltros utilizados numa caldeira de recuperação de indústrias de produção de pasta de papel é possível concluir que esta metodologia permite seleccionar de uma forma estruturada, clara e objectiva, os subsistemas críticos que requerem especial cuidado no acto da compra dos equipamentos, bem como, a definição das tarefas de manutenção calendarizada a levar a cabo, por forma a evitar as avarias destes equipamentos e a conseqüentemente a sua indisponibilidade. Permite ainda, direccionar os esforços da manutenção para onde eles são mais necessários, rentabilizando o tempo e recursos dispendido na manutenção dos equipamentos.

#### **5. Referências**

- [1] L. Morais e V. Mota. Metodologias de análise de equipamentos. Documento SITEM/FEUP 011/SP/05 (2004).
- [2] HAZOP studies on Systems Containing Programmable Electronics – Part 1 Requirements (2000). Designation Def Stan 00-58 (Part 1) Issue 1. Ministry of Defence.
- [3] Military Standard – Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis (1980). Designation MIL-STD-1629 A. Department of Defense. United States of America.
- [4] L. Morais e L.A. Ferreira. Relatório da análise RCM do electrofiltro da caldeira de recuperação da Portucel de Setúbal. Documento SITEM/FEUP 043/TR/05 (2005).