# "Estratégias de Manutenção e Análise de Riscos Industriais"

Luís Andrade Ferreira
Professor Associado, Depart. de Eng.ª Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, lferreir@fe.up.pt

*Resumo:*

Nesta comunicação são apresentadas algumas das estratégias actuais da manutenção, tendo em conta a sua relevância para a diminuição dos riscos exitentes nas instalações, sistemas ou equipamentos. É dada particular relevância ao RCM pela importância que tem adquirido no meio industrial nos últimos tempos, nomeadamente nas indústrias em que o risco de funcionamento é mais elevado. É apresentado o conceito de RAMS, fazendo-se a necessária ligação ao conceito de Engenharia de Manutenção ao longo todo o ciclo de vida da instalação. Faz-se ainda uma alusão aos riscos apresentados pelo terrorismo e suas consequências.

Palavras chave: Manutenção, Análise de Risco; RCM; RAMS.

## INTRODUÇÃO

Face ao desenvolvimento científico e tecnológico existente, a manutenção tem assumido um papel de maior relevo na sociedade. A necessidade de aumentar a segurança de produção de produtos ou serviços, com tecnologias cada vez mais evoluídas e com tempos de vida mais curtos, obriga à utilização de sistemas produtivos com maior segurança de disponibilidade para a produção, isto é, mais fiáveis e onde seja mais fácil assegurar uma boa manutenção, com uma diminuição dos riscos existentes.

Ao longo do tempo a função manutenção tem tentado acompanhar esta evolução, tendo-se desenvolvido novas estratégias de gestão da manutenção, fazendo apelo às tecnologias mais recentes, como sejam as Tecnologias de Informação ou métodos de monotorização de equipamentos.

As questões fundamentais na escolha da correcta estratégia da manutenção para cada situação mantêm-se ao longo do tempo e têm a ver com a questão central: como optimizar o "output" global de um sistema, diminuindo os seus riscos de funcionamento (segurança, ambiente, operação), com a contribuição da manutenção?

As estatégias actuais de manutenção tentam responder de forma coerente e sistematizada a estas questões fundamentais, ao longo de todo o ciclo de vida de um sistema ou equipamento.

## ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Sendo a disponibilidade dos equipamentos ou sistemas função da sua fiabilidade e manutenibilidade, a função manutenção aparece como essencial para manter os níveis de disponibilidade e segurança durante o ciclo de vida desses equipamentos ou sistemas. Também, no contexto operacional deverão ser desenvolvidas metodologias que levem à melhoria contínua da disponibilidade e da segurança operacional, até aos níveis considerados satisfatórios em cada momento e a custos controlados.

A função manutenção tem sofrido uma evolução importantíssima nos últimos anos, tendo sido desenvolvidas várias estratégias de gestão baseadas no conceito de Engenharia de Manutenção.

A Engenharia de Manutenção pode-se definir como sendo o conjunto de acções que visam a fiabilização, melhoria da manutenibilidade e consequente aumento da disponibilidade dos equipamentos e sistemas, após um análise técnico-económica dos mesmos. Implica uma maior segurança, menor impacto ambiental e melhor qualidade dos produtos ou serviços, a custos optimizados.[1]

Entre as várias estratégias de manutenção podem-se salientar [2]: a Terotecnologia; o "TPM – Total Productive Maintenance"; o "RCM – Reliability–centred Maintenance"; o "RBI – Risk–based Inspection"; o modelo "EUT – Eindhoven University of Technology Model" e o "TQMain – Total Quality Maintenance".

Todas estas estratégias fazem apelo às Tecnologias de Informação para uma gestão proactiva da informação e recorrem ao "benchmarking" para estabelecer metas quando tal se torna necessário.

De entre estas técnicas de gestão salienta-se o RCM, que procura realizar um balanço entre os requisitos de fiabilidade operacional, segurança ou desempenho e os recursos necessários.

Na abordagem RCM a análise da criticidade das avarias é fundamental e é habitualmente realizada com recurso à metodologia "FMECA – Failure Modes Effects and Criticality Analysis", como é proposta pela norma US MIL – STD – 1629.

A criticidade de uma avaria pode ser avaliada por um número de criticidade $C_m$ [3]:

$$C_m = \beta . \alpha . \lambda p . t$$

em que:

$\beta$ = probabilidade condicionada de perda de função

$\alpha$ = taxa de avarias para um modo de falha

$\lambda p$ = taxa de avarias do componente

t = tempo de funcionamento do componente

Esta análise de criticidade pode também ser feita a partir da utilização dos dados obtidos com a realização dos FMECA dos equipamentos ou sistemas, introduzindo os conceitos de Índice de Severidade, Ìndice de Ocorrência e Índice de Detectabilidade da avaria. O produto destes três índices permite determinar quais os equipamentos em que a prioridade de intervenção da manutenção é maior [4].

*Índice de severidade*:

| EFEITO | CRITÉRIO: SEVERIDADE DO EFEITO | **Índice** |
|---|---|---|
| **Perigoso – sem aviso** | A avaria ocorre sem qualquer tipo de aviso. Tem um elevado impacto ao nível da segurança dos operadores da instalação ou da comunidade; coloca em risco normas ambientais. | **10** |
| **Perigoso – com aviso** | A avaria ocorre com aviso. Tem um elevado impacto ao nível da segurança dos operadores da instalação ou da comunidade; coloca em risco normas ambientais. | **9** |
| **Tempo de paragem muito elevado** | Paragem de produção superior a 120 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **8** |
| **Tempo de paragem muito elevado** | Paragem de produção superior a 72 e inferior a 120 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **7** |
| **Tempo de paragem elevado** | Paragem de produção superior a 24 e inferior a 72 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **6** |
| **Tempo de paragem moderado** | Paragem de produção superior a 12 e inferior a 24 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **5** |
| **Tempo de paragem moderado** | Paragem de produção superior a 4 e inferior a 12 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **4** |
| **Baixo tempo de paragem** | Tempo de paragem, inferior a 4h; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais. | **3** |
| **Pequenas consequências** | A variabilidade dos parâmetros do processo ultrapassa os limites de controlo superior ou inferior. É necessário desencadear algumas acções de ajustamento de controlo do processo. Não ocorre a substituição de componentes. | **2** |
| **Nenhuma consequência** | A variabilidade dos parâmetros do processo encontram-se dentro dos limites de controlo superior e inferior. Não é necessário desencadear acções de ajustamento de controlo. Não provoca a produção de produto defeituoso. | **1** |

Tabela 1- Classificação atribuída à severidade

*Classificação de ocorrência:*

| **Probabilidade de ocorrência** | Critério : MTTF | **Índice** |
|---|---|---|
| **Muito alta** | MTTF superior a 170 horas e inferior a 750 horas | **6** |
| **Alta** | MTTF superior a 750 horas e inferior a 4400 horas | **5** |
| **Moderada** | MTTF superior a 4400 horas e inferior a 8800 horas | **4** |
| **Baixa** | MTTF superior a 8800 horas e inferior a 26400 horas | **3** |
| **Muito baixa** | MTTF superior a 26400 horas e inferior a 44000 horas | **2** |
| **Remota** | MTTF superior a 44000 | **1** |

Tabela 2- Classificação atribuída à ocorrência

*Classificação de Detectabilidade:*

| **Probabilidade de detecção** | CRITÉRIO : PROBABILIDADE DE DETECÇÃO | **Índice** |
|---|---|---|
| **Incerta** | O controlo da máquina/operador não consegue detectar a avaria funcional do equipamento. | **6** |
| **Remota** | Existe uma REMOTA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente. | **5** |
| **Baixa** | Existe uma BAIXA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente. | **4** |
| **Moderada** | Existe uma MODERADA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente, podendo este desencadear uma acção preventiva como por ex. a paragem da máquina. | **3** |
| **Elevada** | Existe uma ELEVADA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente, podendo este desencadear uma acção preventiva, e isola a sua causa | **2** |
| **Muito Elevada** | Existe uma MUITO ELEVADA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento | **1** |

Tabela 3- Classificação atribuída à detectabilidade

Após a avaliação destes factores, para cada equipamento duma instalação, o *IS – "Índice de Severidade"*, é calculado:

Índice de Severidade = SeveridadexOcorrênciaxDetectabilidaede

O objectivo do cálculo dos IS é o de conhecer os *IMS – "Items de Manutenção Significativos"*. Os IMS são os equipamentos que apresentam uma probabilidade de falha mais elevada e cuja falha tem mais impacto para o sistema. Os IMS são calculados como a soma dos IS de todos os modos de falha identificados. O conhecimento dos IMS permite conhecer e posteriormente actuar prioritariamente sobre os equipamentos que apresentam o pior desempenho de manutenção e que apresentam o maior risco.

O diagrama de decisão de prioridades de intervenção proposto, utilizando a classificação da detectabilidade, severidade e ocorrência, pode ser visto na Figura 1.

Como não é possível e não é economicamente desejável ter um nível equivalente de manutenção para todos os equipamentos e/ou componentes, os mais críticos são seleccionados para uma manutenção mais desenvolvida.

A implementação do RCM nas empresas não está isenta de dificuldades. Como geralmente significa uma mudança importante na forma de estar do serviço de manutenção, existe uma tendência natural de resistir a essa mudança. Tal acontece também porque os resultados a obter com a sua implementação não são imediatamente perceptíveis, o que causa a dúvida de saber se o trabalho de implementação está a ser bem feito ou não. Assim sendo, sem indicadores de progresso evidentes, a resistência à mudança pode aumentar. Torna-se, por isso, necessário implementar o RCM não em toda a instalação ao mesmo tempo, mas fazer a sua aplicação em unidades piloto, em que os resultados apareçam mais rapidamente e possam ser analisados e divulgados.

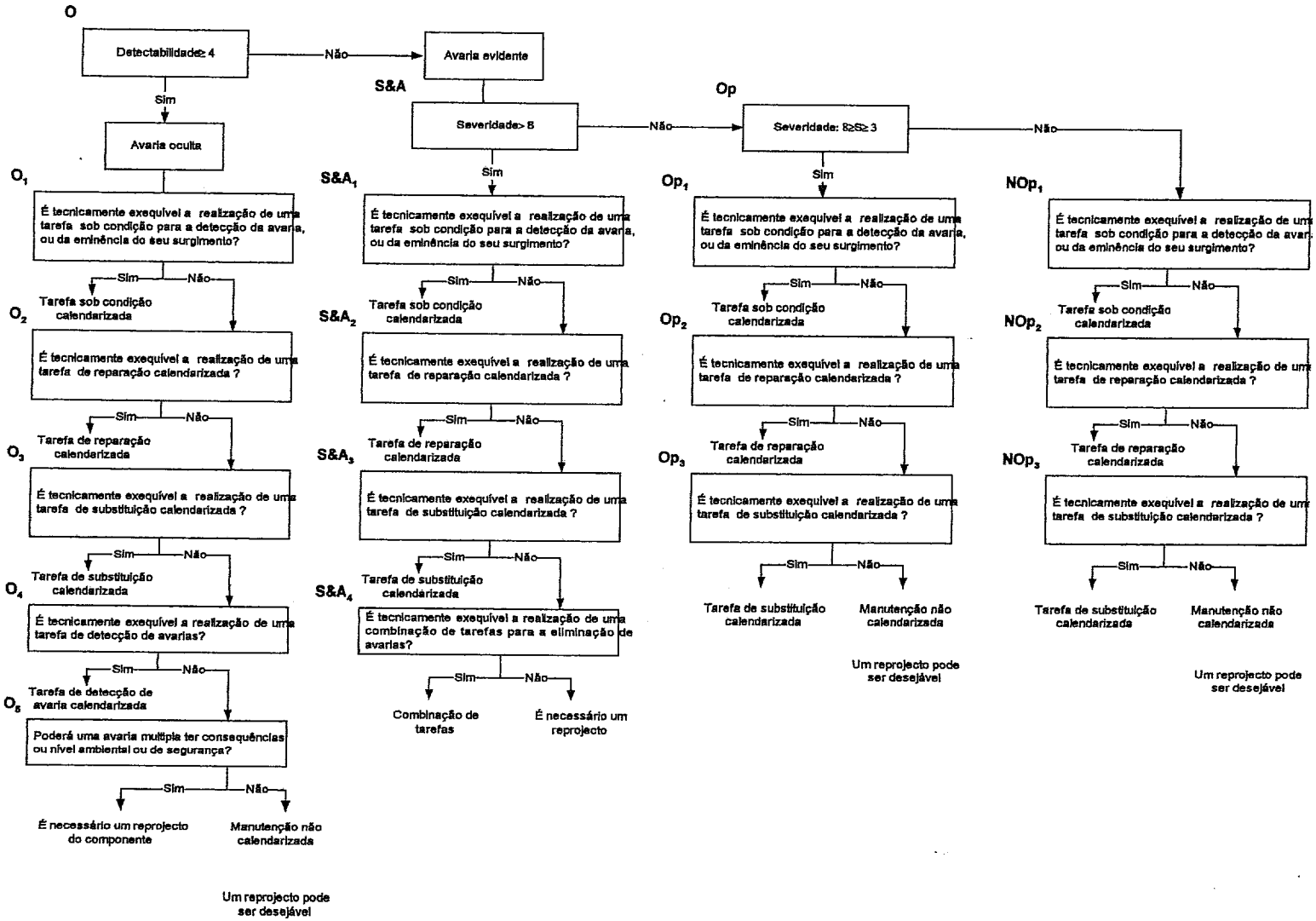



Figura 1: Diagrama de decisão

Para além da redução dos custos de manutenção, a implementação do RCM deverá resultar na redução dos riscos envolvidos (segurança, ambiente e operacionais), ao melhorar a fiabilidade dos equipamentos envolvidos. Esta análise de riscos é fundamental pois pode fazer baixar custos indirectos, como sejam os relacionados com os seguros da instalação e permite uma gestão da produção mais de acordo com os princípios do *"Just-in-Time"*.

O RCM está no centro de uma nova filosofia de manutenção desenvolvida pelo "*Department of Defence – Reliability Analysis Center*", sob o nome de "*Sustained Maintenance Planning – SMP*" [5].

Esta nova filosofia baseia-se no facto de que numa época em que os recursos começam a ser escassos, não é mais suficiente ou competitivo desenvolver um plano de manutenção durante a fase de desenvolvimento dos sistemas e implementar essa plano sem o fazer evoluir ao longo do ciclo de vida. Tal acontece muitas vezes em organizações estáticas, em que os compradores dos equipamentos não se encontram tecnicamente preparados para fazerem evoluir esse planeamento. Actualmente, com a adopção de novas metodologias de produção, como o "*Just – in – time*" ou os "*Integral Product Teams*", assim como de poderosos meios de transmissão e análise computadorizada de informação e meios analíticos cada vez mais desenvolvidos, aumentou decisivamente a capacidade de executar um planeamento de manutenção dinâmico e iterativo, permitindo uma utilização mais judiciosa dos recursos e aumentando a disponibilidade dos equipamentos.

Para maximizar os benefícios da aplicação destes conceitos, o DoD identificou os processos chave para o seu desenvolvimento agregados sob o acrónimo SMP.

Na Figura 2 apresenta-se de uma forma simplificada o desenvolvimento de um processo SMP.

Esta filosofia tenta ultrapassar o problema habitual existente nos programas de manutenção estáticos em que não é levado em conta o envelhecimento normal do equipamento.

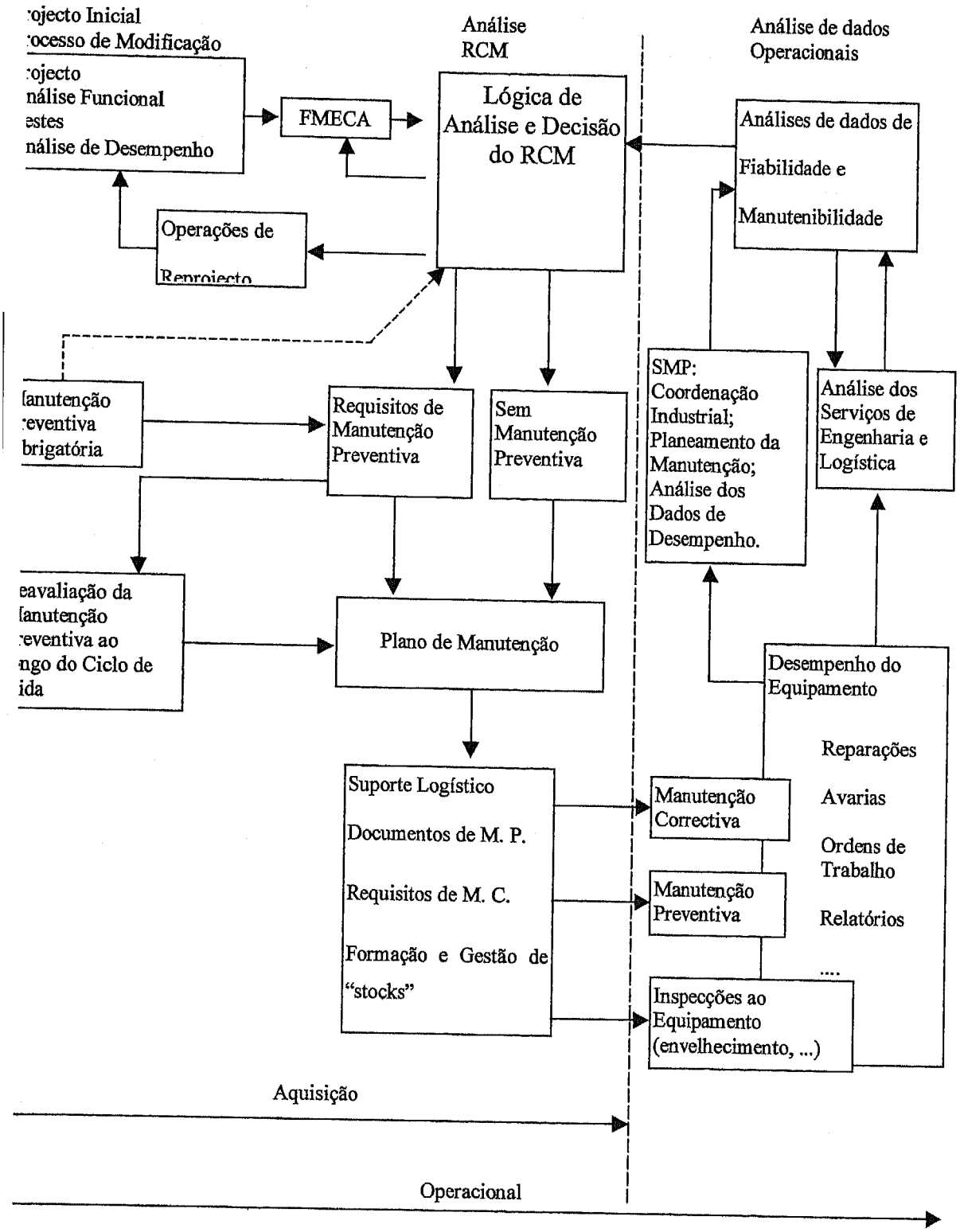



Figura 2: **O processo SMP.**

Como pode ser observado, todas estas estratégias de manutenção implicam a utilização de novas técnicas de controlo de condição, que torna possível a Manutenção Preventiva Condicionada, como sejam a análise de óleos, a análise vibratória, a termografia ou a análise de desempenho.

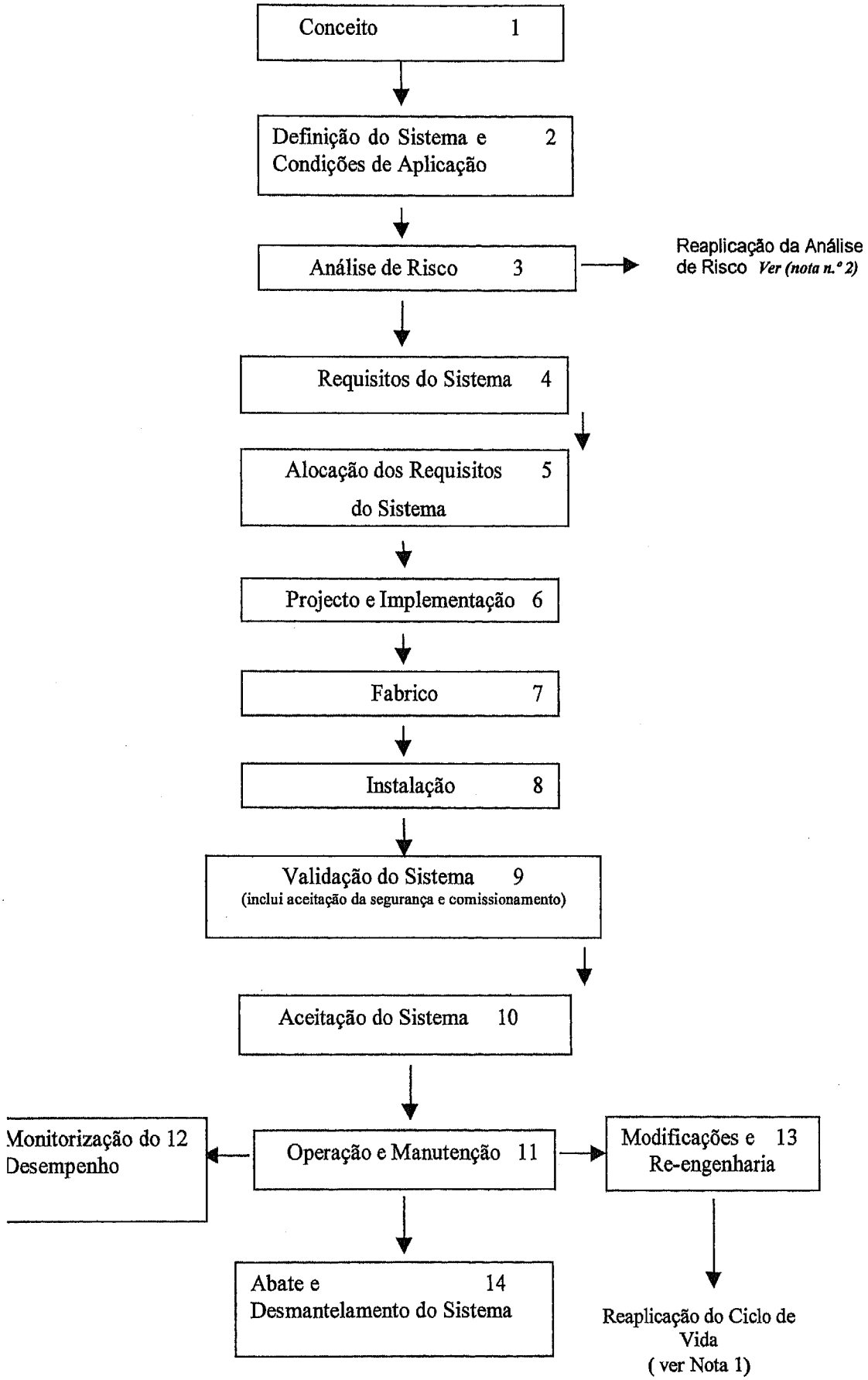
A monotorização do estado de condição dirigida aos elementos críticos pode e deve fazer aumentar a fiabilidade operacional ao recomendar a intervenção da manutenção antes da existência das avarias. Estas intervenções tendem a fazer aumentar o tempo de bom funcionamento dos equipamentos, o que resulta num aumento da disponibilidade, segurança operacional, com a consequênte diminuição dos riscos existentes, e habitualmente um aumento global da vida dos equipamentos.

Deve-se notar ainda a existência de equipamentos em que se torna absolutamente necessário que em determinadas fases do seu funcionamento estejam completamente isentos de avarias ou disfunções graves. Tal leva à introdução do conceito de *"MFOP – Maintenace Free Operating Periods"*, em que se torna impossível qualquer intervenção de urgência para diminuir as consequências catastróficas das disfunções. Este conceito é largamente utilizado na indústria aerospacial e na aeronáutica, quer civil, quer militar, em que os tempos de utilização sem possibilidade de intervenção da manutenção tendem a ser muito elevados [6].

## O CONCEITO DE CICLO DE VIDA GLOBAL

A evolução das técnicas de gestão de novos projectos têm hoje em consideração todo o ciclo de vida dos sistemas e equipamentos, integrando desde a fase inicial todos os parâmetros funcionais que de algum modo podem influenciar esse ciclo de vida. Assim, foi desenvolvido o conceito integrado de *"RAMS – Reliability, Availability, Maintenability and Safety"*, que de forma provisional e ao longo da vida dos sistemas ou equipamentos procura controlar os parâmetros de fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança operacional, parâmetros fundamentais no controlo dos riscos inerentes ao funcionamento de um sistema ou instalação.

Na Figura 3 apresenta-se um diagrama de sequência representativo das diferentes fases de um sistema *RAMS*.




NOTA 1: A fase em que uma modificação entra no ciclo de vida está dependente do sistema modificado e da modificação especifica em estudo.

NOTA 2: A análise de risco pode ter de ser repetida em vários estágios do ciclo de vida

Figura 2: **Ciclo de Vida do Sistema**

Este conceito foi já apresentado e debatido no âmbito do transporte ferroviário [7], mas não é demais chamar a atenção para a sua importância em qualquer sector empresarial.

O resultado final que se pretende com um projecto RAMS é o controlo final dos riscos envolvidos, ao longo do ciclo de vida dos equipamentos e sistemas, a custos controlados. Assim sendo a permanente actualização da análise dos riscos envolvidos, desde a fase de projecto até ao abate e desmantelamento do sistema, é absolutamente essencial. Por outro lado, permite orientar e, se necessário re-orientar, a atenção dos serviços de manutenção para os equipamentos que apresentam, a cada momento, o maior risco.

Como já vimos, os IMS deverão ser objecto de uma atenção acrescida e, por vezes, objecto de modificações de engenharia, que permitem melhorar o seu desempenho e baixar o risco envolvido. [8]

## PREVENÇÃO DE ACÇÕES DE SABOTAGEM

Como é do conhecimento geral, o problema das consequências das acções de sabotagem em equipamentos críticos assumiu recententemente proporções muito elevadas. A gestão do risco em equipamentos críticos é ainda função de um balanço entre segurança operacional, produtividade, qualidade de serviço e custo. No entanto, esta percepção é afectada por um novo elemento, o terrorismo, que potencialmente pode afectar todos os outros factores.

Ainda não existem meios científicos capazes de modelizar este novo tipo de riscos [9]. No entanto, torna-se necessário prever a existência deste factor, sempre que ele apareça como possível e com consequências graves, utlizando os meios disponíveis, como por exemplo a "Teoria de Jogos", teoria de simulação desenvolvida por J. Nash.

## CONCLUSÕES

Torna-se óbvio, que para satisfazer as cada vez maiores necessidades de produtividade e segurança operacional dos sistemas, é absolutamente necessário projectar sistemas mais fiáveis, mais fáceis de manter e mais seguros. Por outro lado,

é imprescindível manter a competitividade desses sistemas através de uma manutenção dinâmica, que tenha em conta o envelhecimento e/ou evolução desses sistemas, controlando devidamente os riscos existentes e perceptíveis a cada momento.

Todos os sectores empresariais para serem competitivos não fogem a esta lógica e torna-se imprescindível adoptar novas filosofias de compra, manutenção e análise de ciclo de vida de instalações, sistemas e equipamentos de modo a satisfazer os consumidores com a qualidade requerida e com níveis de risco economica e socialmente aceitáveis.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Ferreira, L.A. (1998), "Uma Introdução à Manutenção", Publindustria, Porto, ISBN 972 95794 4 X.

[2] Ferreira, L. A. (2000), "Engenharia de Manutenção", Actas do 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da Ordem dos Engenheiros de Portugal, Coimbra, pág. 3.1-3.15.

[3] Riout, J. (1994), "Le Guide AMDEC Machine", CETIM, Senlis, ISBN 2 85400 312 8.

[4] Silva, N. (2000), "Metodologia de Apoio à Definição de uma Estratégia de Manutenção – Uma Aplicação da *Reliability-centered Maintenance*", FEUP, Tese de Mestrado em Manutenção Industrial.

[5] Dizek, S. (2001), "Sustained Maintenance Planning", START, vol. 7, nº 1, pp. 1-4.

[6] Warrington, L., Jones, J. A., Davis, N. (2002), "Modelling of Maintenance, Within Discrete Event Simulation", Proceed. of the Annual Reliability and Maintenability Symposium, Seattle, pág. 260-265.

[7] Rangel, A., Ferreira, L. A. (2000), "Novas Metodologias de Manutenção Aplicadas a Sistemas Ferroviários", Actas do 2º Congresso Nacional do Transporte Ferroviário, ADFER, Lisboa, pág.. 29-35.

[8] Sobral, J. (2002), "Análise *RAMS* de Sistemas de Combate a Incêndio em Edíficios Públicos", FEUP, Tese de Mestrado em Manutenção Industrial.

[9] Smith, E. (2002), "Designing for Sabotage", ASME Mechanical Engineering, vol.124, n.º 9, pp. 40-44.