

# **ANÁLISE DE RISCO EM PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO**

**MARTA FILIPA OLIVEIRA RODRIGUES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Jorge Moreira da Costa

JUNHO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Dedico este trabalho:

Aos meus pais, Maria Justa e António  
Rodrigues pelo eterno incentivo e apoio.

A todos os amigos.

*"Anything that can go wrong, will go wrong."*

*Adágio conhecido como*

*"Lei de Murphy"*



## **AGRADECIMENTOS**

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Em primeiro lugar agradeço ao Professor Doutor Jorge Moreira da Costa a forma como orientou o meu trabalho. As suas notas, recomendações e cordialidade com que sempre me recebeu foram preponderantes para que esta dissertação fosse possível.

Em segundo lugar destaco o Luís Pedro Mateus, obrigada pelo tempo disponibilizado e a ajuda preciosa na realização desta tese.

Em terceiro lugar agradeço o João Melim, que me acompanhou ao longo dos vários anos de curso, pelo apoio, atenção e incentivo amigo.

Deixo aqui uma palavra de agradecimento aos professores do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, pela forma como leccionaram e por me terem transmitido o interesse e permência da preocupação com a Qualidade.



## RESUMO

As abordagens em relação ao conceito Qualidade mudaram muito ao longo dos tempos. Este acontecimento deve-se ao facto de as organizações se terem tornado sistemas complexos, isto é, a execução eficaz de uma actividade do processo não garante a eficácia do sistema, sendo por isso necessário garantir inter-relações dos processos.

Nos mais recentes Sistemas de Gestão da Qualidade já existe uma preocupação em ter uma visão geral dos processos, porém a problemática tratada nesta dissertação envolve o facto de os métodos da qualidade que suportam estes novos sistemas ainda serem os mesmos.

Neste trabalho são descritos os principais métodos de análise de risco usados no mercado que suportam os actuais Sistemas de Gestão da Qualidade. Estes são analisados criticamente, comparando-os e apontando as suas dificuldades em relação à sua aplicação.

No mercado existe uma grande variedade de software que ajuda no desenho das representações gráficas e nos cálculos necessários para aplicar os diversos métodos de análises de risco. Nesta dissertação é feita uma pequena abordagem sobre os programas disponíveis no mercado verificando que estes muitas vezes só ajudam na apresentação final das propostas de acções de prevenção.

Nesta análise e observação verificou-se que existe um uso inadequado do método FMEA, pois este ainda se encontra nos moldes para o qual foi criado e está um pouco desajustado para o uso no sector da construção.

Com base na observação dos métodos de análise de risco desenvolveu-se nesta dissertação de mestrado uma proposta de uma nova tradução para o método FMEA. Esta nova abordagem transporta a análise de risco para além da percepção pessoal do técnico envolvido, ajudando a quantificar o RPN, elemento fundamental na estratégia de análise de risco. Tudo isto ajuda a criar uma harmonia entre as medidas preventivas e as potenciais falhas.

Por fim, conclui-se que esta abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA é uma alternativa viável para as organizações que buscam tomar consciência dos diversos modos de falha e prever o modo de resposta.

Palavras-Chave: FMEA, RPN, Analise de Risco





## **ABSTRACT**

The approaches concerning the concept of quality have changed throughout the times. This event is explained by the fact of the organizations having evolved into complex systems, meaning that the effective execution of a process activity won't guarantee the systems effectiveness. It is therefore necessary to take action in order to guarantee inter-relations between processes.

In more recent Quality Management Systems there is already a concern in having a broad view of processes. However, the subject dealt in this work concerns the fact that the methods of quality that support these new systems are still the same.

In this work, the main Risk Analysis Methods used in the market that support the actual Management Quality Systems are described. These are subjected to critic analysis, comparing and pointing their difficulties concerning their implementation.

In the market, there is a wide variety of available software designed to aid in the drawing of graphic representations and necessary calculus to apply in diverse methods of risk analysis. In this research, a brief approach is made about the available programs in the market, concluding that many times these only help in the final presentation of proposals concerning preventing actions.

In this analysis and observation it came to conclusion that an inadequate use of the FMEA method takes place. This occurs because the FMEA method is still applied in the standards for which it was created and is, therefore, out of date for the use in the construction sector.

Having in mind the observation of Risk Analysis Methods, it came to develop in this Masters Degree Theses a new translation proposal to the FMEA method. This new approach takes the risk analysis far beyond the personal perception of the involved technician, therefore helping to rate the RPN, which is a fundamental element in the risk analysis strategy. All this helps creating a harmony between preventive measures and potential failures.

At last, it concludes that this integrated approach of quality methods based on the FMEA is a valid alternative to the organizations that seek to take conscience of the diverse failure modes and to predict the response mode.

Key-Words: FMEA, RPN, Risk Analysis



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO .....	3
1.3. BASES DO TRABALHO .....	4
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2. METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO .....</b>	<b>5</b>
2.1. DIAGRAMA DE CAUSA EFEITO .....	5
2.2. “FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS” .....	6
2.3. ÁRVORE DE FALHA .....	10
2.4. “HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINTS” .....	13
2.5. “HAZARD OPERABILITY ANALYSIS” .....	15
2.6. “PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS” .....	16
2.7. MÉTODO MONTE CARLO .....	18
2.8. ANÁLISE COMPARATIVA .....	18
2.9. SOFTWARE .....	20
2.9.1. BLOCKSIM7 .....	20
2.9.2. FTA-PRO .....	21
2.9.3. @RISK VERSION 4.1 .....	21
2.9.4. HAZOP MANAGER VERSÃO 6.0 .....	22
2.9.5. FMEA-PRO .....	23
2.9.6. RELEX ARCHITECT .....	24
2.9.7. COMENTÁRIO .....	24
<b>3. MÉTODO FMEA .....</b>	<b>25</b>
3.1. ENQUADRAMENTO .....	25

<b>3.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO</b> .....	26
<b>3.3. APLICAÇÃO</b> .....	28
<b>4. PROPOSTA DE GRADUAÇÃO</b> .....	35
<b>4.1. PRINCÍPIOS</b> .....	35
<b>4.2. ESTRATÉGIA DE GRADUAÇÃO</b> .....	36
4.2.1. GRADUAÇÃO DA SEVERIDADE UTILIZANDO FACTOR “TEMPO” .....	36
4.2.2. GRADUAÇÃO DA SEVERIDADE UTILIZANDO FACTOR “CUSTO” .....	38
4.2.3. GRADUAÇÃO DA OCORRÊNCIA .....	40
4.2.4. DETERMINAÇÃO RPN .....	41
<b>4.3. APLICAÇÃO</b> .....	42
4.3.1. FACTOR “TEMPO” .....	42
4.3.2. FACTOR “CUSTO” .....	43
<b>4.4. COMENTÁRIO</b> .....	47
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	53

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Fig.1 – Diagrama Causa Efeito .....	6
Fig. 2 – Gráfico RPN (severidade*ocorrência).....	8
Fig.3 – Árvore de Falha.....	11
Fig. 4 – Diagrama exemplo de identificação do ponto crítico .....	14
Fig.5 – Matriz Severidade * Frequência.....	17
Fig. 6 – Programa Blocksim7 .....	20
Fig.7 – Programa @Risk.....	21
Fig. 8 – Programa HAZOP Manager .....	22
Fig.9 – Programa FMEA-Pro.....	23
Fig. 10 – Programa Relex Architect .....	24
Fig. 11 – Fluxograma de Análise de Risco pelo método FMEA .....	28
Fig. 12 – Diagrama de Gantt da obra exemplo.....	30
Fig. 13 – Gráfico S*O (hipótese 1) .....	32
Fig. 14 – Gráfico S*O (hipótese 2) .....	33
Fig. 15 – Gráfico S*O (factor “tempo”) .....	43
Fig. 16 – Gráfico S*O (factor “custo”).....	45
Fig. 17 – Gráfico S*O Global.....	46



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de Escala de Severidade .....	8
Tabela 2 – Exemplo de Escala de Ocorrência.....	9
Tabela 3 – Exemplo de Escala de Detecção .....	9
Tabela 4 – Exemplo de tabela Resumo .....	10
Tabela 5 – Exemplo de Comportas Lógicas .....	12
Tabela 6 – Palavras-guia usadas no processo HAZOP .....	15
Tabela 7 – Categorias de Frequências de Ocorrência de cenários.....	16
Tabela 8 – Categorias de severidade dos perigos identificados .....	17
Tabela 9 – Classificação do risco.....	17
Tabela 10 – Tabela comparativa dos métodos de Análise de Risco.....	19
Tabela 11 – Descrição das tarefas .....	29
Tabela 12 – Tabela resumo (hipótese 1) .....	31
Tabela 13 – Tabela resumo (hipótese 2) .....	32
Tabela 14 – Graduação equivalente da Severidade Vs. IS.....	37
Tabela 15 – Parâmetros parciais e Severidade para o factor “tempo” .....	42
Tabela 16 – Parâmetros parciais e Severidade para o factor “custo” .....	44
Tabela 17 – Quantificação do RPN.....	46





## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CCP- Critical Control Points

CP - Custo por Pessoa

D - Detecção

EE - Equipamento Especial

EP - Equipamento Próprio

FMEA – Failure Modes and Effects Analysis

FMECA- Failure Modes Effects and Critical Analysis

FTA- Faulty Tree Analysis

HACCP -Hazard Analysis and Critical Control Points

HAZOP- Hazard Operability Analysis

IS - Índice de Severidade

ISc - Índice Severidade custo

ISmax - Índice Severidade máximo

ME - Material Especial

MG - Material Genérico

MM - Material à Medida

N - Número de pessoas por equipa

NDE - Número de Dias já Escodados

NTC - Número de Tarefas Condicionadas

NTS - Número de Tarefas Subsequentes

NTScc - Números de Tarefas Subsequentes situadas no Caminho Critico

O - Ocorrência

P - Pedreiro

PCC – Ponto Crítico de Controlo

PHA - Preliminary Hazard Analysis

RPN – Risk Priority Number,

S - Severidade

Serv - Servente

T - Trolha

Tec - Técnico de piscinas



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

As preocupações com a qualidade sempre existiram e são intrínsecas à natureza humana. O trabalho bem feito pertence à nossa cultura, sendo imperativa e premente uma preocupação com a qualidade.

O conceito qualidade encontra uma diversidade de definições, mas tratando-o de uma forma mais ampla podemos defini-lo como a capacidade de atender às expectativas das partes interessadas. Quando se trata de um produto ou serviço as expectativas normalmente são em relação à conformidade com os requisitos e a adaptabilidade ao uso, onde as principais partes interessadas são normalmente os clientes. Assim, neste contexto a qualidade está directamente relacionada a atender aos requisitos dos clientes. Quando se trata de um processo, por exemplo, um processo produtivo, as expectativas são normalmente em relação ao atendimento das metas e objectivos específicos do processo, por exemplo, baixos níveis de rejeições, retrabalhos e reaproveitamentos, neste caso as principais partes interessadas são os responsáveis pelo processo. Neste outro contexto qualidade está directamente relacionada com as metas e objectivos especificados pelos responsáveis pelo processo. O conceito de qualidade, como capacidade de atender as expectativas das partes interessadas pode ainda ser estendido a diversas outras situações.

Qualidade é um conceito atemporal, porém as abordagens em relação à qualidade mudaram muito ao longo do tempo. Algumas das mudanças mais significativas em relação à qualidade iniciaram-se a partir da revolução industrial.

Se viajarmos um pouco na história em busca da definição de qualidade teremos que procurar desde os tempos mais remotos, desde o período em que o homem produzia para seu próprio consumo. A qualidade era conseguida através da habilidade própria, sendo esta entendida como bem-estar, abrigo, comida simples e boa.

O crescimento dos aglomerados populacionais trouxe a necessidade de abastecimento de produtos. Inicialmente toda a empresa concentrava-se no artesão, que identificava as necessidades dos clientes, concebia o produto, fabricava-o, vendia-o e prestava assistência pós-venda. Mais tarde foi necessário criar as oficinas de artesãos. Nestas oficinas existiam tipicamente três elementos: o mestre da oficina, o ajudante e o aprendiz. O mestre desempenhava as tarefas de direcção e delegava algumas tarefas ao ajudante, que por sua vez supervisionava o aprendiz. Contudo, a responsabilidade da qualidade final era do mestre.

A revolução industrial trouxe a mudança. As tarefas foram divididas e cada operário executava com alta produtividade uma tarefa específica. Na revolução industrial o foco era produção em massa a baixo custo, com isto os operários não contactavam com o cliente final e produziam segundo padrões

definidos, sendo a qualidade da responsabilidade de um supervisor. Mas os operários das fábricas eram camponeses que com a revolução industrial se mudaram para as grandes cidades. Estes operários tinham pouca instrução e nunca haviam trabalhado em tarefas fabris. Portanto eram incapazes de participar em qualquer tarefa de organização sendo necessário delegar sempre tarefas simples e de fácil execução.

Em 1911, Taylor publica “Os princípios da administração científica”. Aí ele propunha uma divisão do trabalho em etapas de modo que o trabalhador desenvolvesse tarefas ultra-especializadas e repetitivas, diferenciando o trabalho intelectual do trabalho manual, fazendo um controle do tempo gasto em cada tarefa e um constante esforço de racionalização, para que a tarefa fosse executada num prazo mínimo.

O Taylorismo conseguiu grandes resultados ao nível da produtividade. Contudo, hoje em dia está em decadência porque a formação e a capacidade de aprendizagem dos recursos humanos, torna estes no maior activo das organizações.

Durante a Primeira Guerra Mundial foi evidenciado o Risco de trabalho mal feito. No entanto, os inspectores, apenas se preocupavam com as falhas, sendo a investigação das causas uma actividade pouco relevante.

A falta de controlo da concepção, uso de tecnologias e materiais não provados ou desvios à normalidade dos processos, foi evidenciada durante a Segunda Guerra Mundial.

Entre as duas Grandes Guerras houve grandes desenvolvimentos. Foi constatado que a produção de um produto introduz variações nas características da qualidade e que estas seguem leis estatísticas, sendo muitas inspecções substituídas por processos de amostragem.

Em 1951 surge nos Estados Unidos o conceito de Controlo da Qualidade Total. Este compreendia que todas as causas de não conformidade estavam dominadas e o produto era produzido segundo os resultados desejados, estendendo assim o conceito da qualidade além da área produtiva. A qualidade deixou de ser uma função do departamento da qualidade, mas sim de várias áreas envolvidas em todas as actividades que dizem respeito a qualidade.

Nos anos 60 institui-se a garantia da qualidade como uma exigência dos grandes compradores sobre os seus fornecedores, sendo a garantia uma confiança depositada na qualidade destes.

No início da década de 80, impulsionado pelos Japoneses, surgiu o conceito de Gestão da Qualidade Total, sendo introduzido uma nova estratégia de administração orientada a criar consciência da qualidade em todos os processos organizacionais. Esta gestão requer uma mudança de cultura nas empresas, pois cada colaborador é directamente responsável pela consecução dos objectivos da organização, enfatizando assim o papel das pessoas no sistema, estimulando o trabalho em equipa. Todos têm um papel no produto final: fornecedores, distribuidores e demais parceiros de negócios.

Hoje em dia, a garantia da qualidade tem vindo a assumir uma maior relevância, sendo uma parte integrante da gestão da empresa, constituindo nesta um subsistema. Porém do ponto de vista do produtor o investimento num sistema de qualidade só é justificado em função dos benefícios.

A garantia da qualidade é uma tarefa complexa. Não só, porque os consumidores podem entender a qualidade de maneiras diferentes, mas também, porque a qualidade assume cada vez mais uma abrangência maior e necessita de utilizar conhecimentos provenientes de mais áreas do conhecimento.

O custo de uma falha do sistema envolve, além do custo de reparação/substituição, o custo da não operacionalidade, podendo este ser bastante elevado e normalmente suportado pelo comprador. A existência destes custos leva a que os potenciais clientes exijam às empresas a implementação de um sistema de qualidade.

Assim surgem as principais normas de gestão de qualidade sendo usadas como documentos contratuais. Estas não fazem referência à preocupação com o custo mínimo, mas incluem definições de garantia de qualidade. As normas são escritas de uma forma genérica, levando alguns sectores com características especiais, a criarem normas endereçadas às suas necessidades. Estas últimas são mais detalhadas nalguns requisitos, contendo em alguns casos indicações claras das técnicas a utilizar, como por exemplo FMEA e especificações a obter.

Analisando um pouco a historia verifica-se que de tempos em tempos surgem novas iniciativas em relação à qualidade, algumas deles trazendo conceitos novos e outras apenas reciclando, adaptando ou reorganizando conceitos já existentes.

Para os pesquisadores na área da qualidade uma questão pertinente é qual deverá ser a próxima iniciativa em relação à qualidade que atenda as demandas do mercado e das organizações. [31]

## 1.2. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

As empresas enfrentam cada vez mais desafios importantes. Muitos destes devem-se à ruptura das fronteiras e à globalização. A Construção Civil é sem dúvida um sector onde os desafios se apresentam de uma forma complexa no que diz respeito à preocupação com a Qualidade.

Neste cenário as empresas têm de se tornar competitivas desenvolvendo estratégias de produção. Estas devem-se preocupar com a Qualidade na Gestão dos Projectos e com a competência em articular tanto os recursos técnicos como os humanos. Também terão que intervir na identificação e selecção de materiais cumprindo elevados padrões de qualidade.

A chave de uma boa Gestão da Qualidade está na detecção e prevenção de potenciais falhas. Muitas organizações empresariais aplicam diversos métodos e ferramentas de análise de risco, apesar de muitas delas encontrarem-se limitadas à experiencia dos responsáveis.

Apesar das mudanças no Sistema de Gestão da Qualidade das empresas construtoras, poucas houveram em relação aos métodos e ferramentas de qualidade.

Seria interessante criar um método que fosse capaz, de uma forma sistemática, de detectar e estabelecer prioridades na tomada de medidas preventivas, dado que devido aos custos envolvidos não é possível criar medidas para enfrentar todas as possíveis falhas.

Olhando para os métodos de análise de risco existentes no mercado o que melhor se adapta como ponto de partida para criar algo inovador será o FMEA.

No final dos anos 40 o exército norte-americano introduziu no mercado a metodologia FMEA – “*Failure Modes and Effects Analysis*”s para uso militar. Mais tarde esta técnica, foi desenvolvida pela indústria transformadora, tendo mais recentemente sido introduzida na indústria da construção, onde tem revelado elevado potencial na gestão dos riscos nas várias fases do processo.

Contudo, as escalas de graduação usadas neste método estão um pouco desajustadas para a utilização no sector da construção, levando por vezes a discrepâncias nos resultados obtidos. Esta limitação deve-se ao facto de estas graduações ainda estarem muito limitadas à experiência e percepção pessoal do técnico envolvido.

Em suma, a problemática desta dissertação consiste na proposta de graduações que utilizem além da percepção pessoal, informação objectiva (quantificada) sobre o projecto em causa. Com esta nova abordagem das graduações será mais fácil definir o RPN – “*Risk Priority Number*”, elemento

fundamental na estratégia de Análise de Risco, criando assim uma consonância entre as medidas preventivas e as potenciais falhas.

### 1.3. BASES DO TRABALHO

*“If we open a quarrel between past and present, we shall find that we have lost the future.”*

- Winston Churchill

Estudar o passado sempre ajudou o homem a compreender melhor o presente e a preparar-se para o futuro. Muitos conceitos novos partem de outros que já foram utilizados no passado ou são apenas uma reciclagem de algo que já existe.

Criar algo de novo muitas vezes começa com um olhar sobre o passado. Como tal, nesta dissertação foram utilizados como base de trabalho métodos descobertos no passado que se foram desenvolvendo e adaptando à realidade actual.

O estudo, análise e comparação destes métodos ajudaram a compreender melhor o que existe no mercado e que tipo de linguagem de análise de risco as empresas estão habituadas a trabalhar.

A proposta de graduação partiu de um método já conhecido, que recentemente tem vindo a ser introduzido no sector da construção. O ponto de partida desta proposta foi um método de análise de risco já existente no mercado, como tal foi dada uma continuidade à linguagem já utilizada.

Contudo, esta nova abordagem pode e deve ser, sempre que necessário, adaptada à empresa/projecto em estudo, porque cada empresa deve ter o seu próprio sistema de qualidade e este deve ser encarado como um subsistema estratégico para a gestão global da empresa.

### 1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação divide-se em 5 capítulos.

O capítulo 1 visa introduzir o tema da pesquisa e o contexto onde ela está inserida. Mostra qual a problemática a ser tratada, delimitando assim o campo da pesquisa e identificando quais os objectivos que se pretendem atingir.

O capítulo 2 apresenta os métodos de Análise de Risco actualmente mais usados no mercado, fazendo uma descrição, análise comparativa e uma critica pessoal das metodologias. Foram também apresentados e descritos alguns programas disponíveis no mercado, analisando a sua estrutura e forma de apresentação dos resultados pretendidos.

O capítulo 3 descreve de uma forma mais detalhada a metodologia FMEA. Apresenta igualmente um exemplo de um projecto académico aplicando a análise de risco FMEA.

O capítulo 4 apresenta em detalhe a abordagem proposta para utilização do FMEA. Para que seja possível verificar as diferenças entre a metodologia tradicional e a nova proposta, é analisado o mesmo projecto do capítulo 3.

O capítulo 5 procura concluir o tema aberto na dissertação, visando atender ao objectivo principal descrito no capítulo 1.

# 2

## METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO

Uma empresa quando se prepara para construir [1] deve prevenir-se para a ocorrência de potenciais risco. O custo de uma falha envolve, não só o custo de reparação/substituição, mas também o custo da não operacionalidade, podendo estes últimos ser bastante elevados.

A ocorrência de um risco é algo que é inerente à construção, mas com um prévio estudo do projecto é possível identificar as potenciais causas para podermos actuar sobre elas. Com uma adequada Análise de Risco é possível intervir de forma a influenciar a probabilidade de ocorrência e ajustar o projecto para assegurar que as probabilidades estão a nosso favor.

Para uma melhor Análise de Risco podem ser criados métodos iterativos programáveis em computador; contudo, para a qualidade do trabalho final é imprescindível a análise de um engenheiro experiente.

Neste capítulo serão descritas e discutidas as metodologias de Análise de Risco mais conhecidas, tentando dar uma visão geral de ferramentas úteis para a ordenação de ideias.

### 2.1. DIAGRAMA DE CAUSA EFEITO

O “Diagrama de Causa Efeito” [2], também conhecido como “*Diagrama de Ishikawa*” ou “*Fish Boné*”, é uma ferramenta útil que ajuda na ordenação de ideias complexas mediante relações de casualidade. Este método de Análise de Risco oferece uma visão simples e concentrada das causas que contribuem para uma situação de Risco.

Esta técnica é uma representação gráfica que mostra relações qualitativas e hipotéticas de diversos factores que podem contribuir para uma determinada falha. Esta representação permite estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema, assim como os efeitos sobre a qualidade dos produtos, mostrando as relações de uma forma ordenada, clara, precisa, só com um golpe de vista e com uma riqueza de detalhe que pode ser determinante para uma melhor qualidade dos resultados do projecto. Este método permite ainda analisar situações complexas, permitindo igualmente uma averiguação da origem das causas do efeito.

Na construção do diagrama, inicialmente deve ser definido o efeito cujas causas vão ser identificadas. Como tal, o efeito deve ser específico/concreto para que não seja interpretado de diferentes formas pelo grupo de trabalho e para que estes se concentrem no caso em estudo.

É importante que a equipa de trabalho tenha um espírito crítico e uma boa compreensão do problema.

O efeito será o ponto de partida para a identificação das possíveis causas que o provocam. Encontradas todas as causas, estas são listadas, sendo posteriormente destacadas apenas as causas principais.

Na imagem seguinte é representado um esquema genérico do Diagrama Causa-Efeito. Neste podemos observar as setas onde são escritas as causas, convergindo para o canto direito onde é registado o efeito. Depois de feita a construção gráfica é comprovada a validade lógica da cadeia de ideias.

A representação gráfica proporciona um conhecimento comum de uma causa complexa, apresentando-a de uma forma claramente visível a qualquer nível de detalhe. Ajuda a buscar as causas dos problemas contudo não proporciona respostas às perguntas.

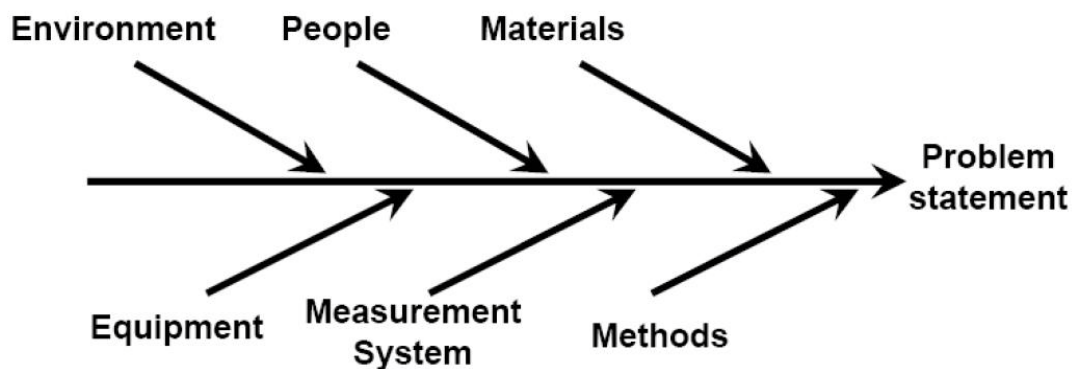


Fig.1 – Diagrama Causa Efeito

Ishikawa verificou que um número considerável de problemas não poderia ser resolvido com a ajuda deste método. Contudo, o facto de este ser uma ferramenta de fácil utilização por parte dos trabalhadores, tornou esta metodologia uma ferramenta de elevada aceitação e utilidade.

O “Diagrama de Causa Efeito” é adequado para ajudar a pensar de forma sistemática, estruturando de uma forma lógica ideias “dispersas”, podendo ser usado numa fase de diagnóstico, na formulação de possíveis causas, ou numa fase de correcção, considerando soluções alternativas.

O principal problema deste método reside no facto de este não identificar nem classificar as principais causas do efeito. Contudo esta não é a única limitação, dado que na construção gráfica são dispostas teorias e dados reais, levando por vezes a confusões.

## 2.2. “FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS”

O “Failure Modes and Effects Analysis” [4], mais conhecido por FMEA, foi desenvolvido pelo exército norte-americano no ano de 1949. A aplicação deste método tinha como principal objectivo analisar os sistemas de ataque e equipamentos em busca de potenciais falhas, classificando-as segundo o seu impacto no sucesso das missões e verificando as condições de segurança referente ao pessoal.

Actualmente este processo é exteriormente usado na indústria automóvel, tendo sido mais recentemente introduzido no sector da construção intervindo em diferentes fases e a vários níveis da empresa em busca de fontes de risco. A divulgação deste método de prevenção de potenciais falhas deve-se em parte à referência feita a este nas normas ISO 9000: 2000.



A FMEA é uma técnica indutiva, que consiste em estudar processos complexos, analisando sistematicamente todos os modos de falha, isto é buscando o que poderá falhar e identificando os efeitos resultantes das falhas. Este estudo é possível dividindo o processo em partes mais simples para que seja mais fácil encontrar as potenciais falhas e propor acções de melhoria.

O objectivo básico desta técnica [5] é detectar falhas antes que se inicie o processo. Assim a sua utilização procura diminuir a probabilidade do produto ou processo falhar, aumentando a confiança no processo.

A aplicação do método consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificam para o processo em questão os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas das falhas.

Numa abordagem mais completa do FMEA, conhecida por FMECA (Failures Mode, Effect and Critically Analysis) [6] [7], para além da análise do Modo de Falha também é feita uma análise do impacto crítico que a falha pode ter sobre o sistema. Desta forma as causas são avaliadas por meio de índices, tomando como base essa quantificação na hierarquização dos Modos de Falha.

Na quantificação dos Modos de Falha [9] são utilizados 3 índices, Severidade, Ocorrência e Detecção para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos. Nas tabelas seguintes são dados exemplos de critérios que podem ser usados, contudo o ideal é que cada empresa tenha os seus próprios critérios adaptados à sua realidade.

Estes índices [7] utilizam escalas de graduação onde é feita uma avaliação probabilística de certas situações, sendo essas probabilidades graduadas de 1 a 10.

Através do cálculo do Número de Risco Prioritário (RPN- Risk Priority Number) é possível determinar quantitativamente o modo de falha. Este número é o produto dos três índices calculados.

Em princípio os valores de RPN são tratados de uma forma prioritária em função do nível de RPN atribuído, contudo é necessário fazer uma análise dos valores parciais dos índices para uma melhor consistência na tomada de decisão.

Com o cálculo e análise do RPN e dos índices parciais é possível quantificar a amplitude de cada falha e assim fazer uma ordenação e escalonamento das prioridades das acções a desenvolver para reduzir ou minimizar os efeitos que certas falhas podem originar.

Recentemente [4] é feita uma nova abordagem em que os componentes Severidade e Ocorrência são privilegiados. Estes dois componentes são colocados num gráfico, onde são obtidas áreas de risco em função da graduação da Severidade e Ocorrência.

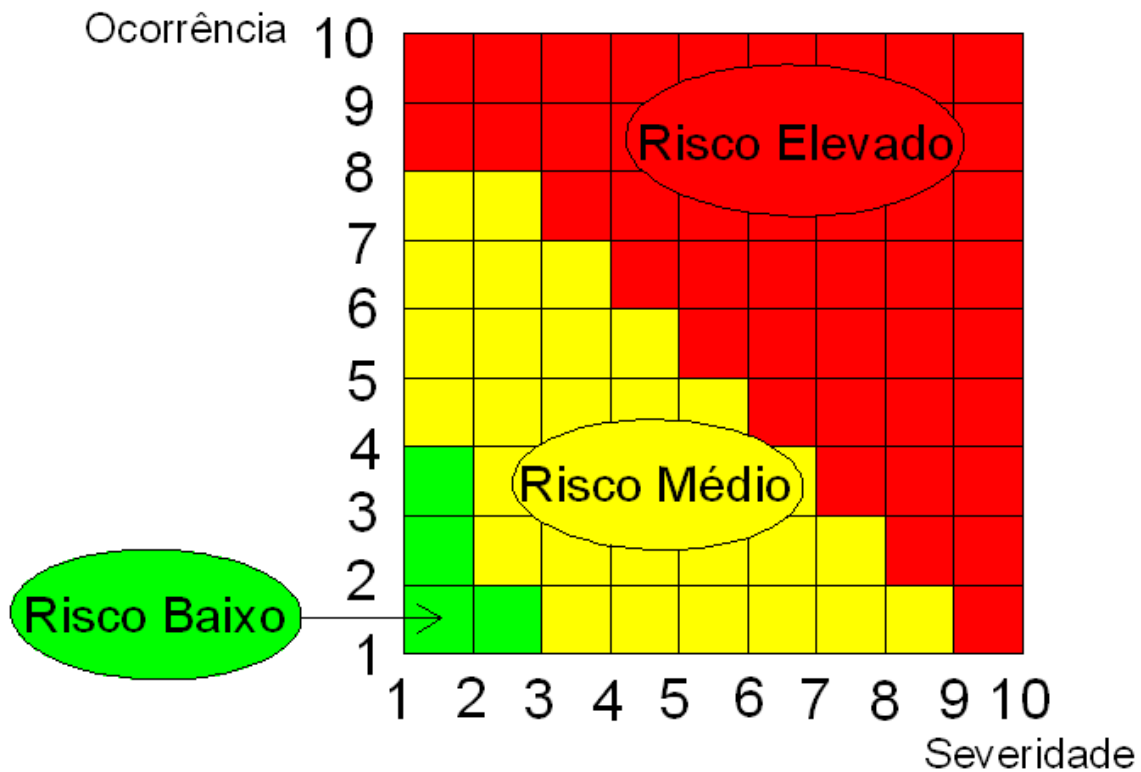


Fig.2 – Gráfico RPN (Severidade \* Ocorrência)

Com as falhas quantificadas e ordenadas por ordem de prioridade [9] são listadas todas as acções que podem ser tomadas para diminuir ou mesmo eliminar o risco. Uma forma de fazer o controlo do resultado pode ser com o apoio a uma tabela, onde são compilados todos os passos descritos anteriormente de forma sistematizada.

Tabela 1 – Exemplo de Escala de Severidade [4]

Escala de Severidade	
1	O efeito não é detectável pelo cliente
2	Efeito muito ligeiro, detectável pelo cliente; no entanto, não perturba ou cria problemas ao cliente
3	Efeito ligeiro que cria alguma perturbação no cliente. No entanto, não é suficiente para levar este a pedir assistência
4	Efeito ligeiro, mas com pedido de assistência por parte do cliente
6	Efeito limitado; o cliente exige assistência imediata
7	Efeito moderado; cria insatisfação no cliente
8	Efeitos significativos, com interrupção no funcionamento do sistema
9	Efeito crítico, sistema completamente bloqueado, risco de segurança
10	Efeito crítico com risco de vida

Tabela 2 – Exemplo de Escala de Ocorrência [4]

Escala de Ocorrência		
1	Extremamente remota	<0,01% <1 em 10000
2	Remota muito pouco provável	0,011-0,20 1 em 10000
3	Probabilidade muito reduzida	0,21-0,60 1 em 500
4	Probabilidade reduzida	0,61-2,00 1 em 150
5	Ocasional	2,001-5,00 1 em 50
6	Moderada	5,001-9,999 1 em 20
7	Frequente	10,0-14,999 1 em 10
8	Alta	15,0-19,999 1 em 6,5
9	Muito Alta	20,0-25,0 1 em 5
10	Certa	>25,0% >1 em 4

Tabela 3 – Exemplo de Escala de Detecção [4]

Escala de Detecção		
10	Impossível de detectar	Sem sistema de detecção implementado, em noção de garantia da qualidade, apoiado apenas na intuição
9	Remota	Totalmente reactiva aos problemas. Sem sistema de inspecção
8	Muito pouco provável	Inspeção pelo operador. Sem noção ou sistema formal de garantia de qualidade
7	Pouco provável	Inspeção parcial de metodologias da qualidade. Planos de inspeção por amostragem
6	Baixa	Fases iniciais de Sistemas de Gestão da Qualidade Total implementadas
5	Média	Sistema parcial de inspeção automática
4	Moderada	Sistema de garantia da qualidade implementado e verificado. Responsabilização do operador
3	Boa	Rastreabilidade do sistema, revisões de projecto formais, controlo de materiais
2	Alta	Sistema de qualidade estabilizado e em utilização corrente. Actualização constante e formação obrigatória dos operadores
1	Certa	Sistemas de inspeção totalmente automatizados

Tabela 4 – Exemplo de tabela Resumo

Análise FMEA																
Código: Nome da Peça: Folha nº _____ de _____						Data:				<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto						
Descrição do produto/ processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controlo Actual	Índices				Acções de Melhoria						
						S	O	D	RPN	Acções recomendadas	Responsavel/ prazo	Medidas Implementadas	Índices Actuais			
													S	O	D	RPN

### 2.3. ÁRVORE DE FALHA

A “Árvore de Falha (FTA- Faulty Tree Analysis)” [10] foi concebida inicialmente para resolução de problemas bastante confusos de segurança no campo aeroespacial. A sua aplicação revelou-se um grande êxito fazendo com que esta técnica ganhasse uma aceitação não apenas no ramo da indústria mas também junto do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Mais tarde foi aperfeiçoada por engenheiros e matemáticos da Boeing que se empenharam a fundo no seu desenvolvimento adaptando esta metodologia de forma a poder ser utilizada em computador.

Esta metodologia consiste na construção de um diagrama lógico, que parte da definição do evento indesejado, ou falha cuja probabilidade queremos conhecer. Revistos os factores intervenientes no processo são determinadas as condições, eventos particulares, que poderão contribuir para a ocorrência do evento indesejado. Definida a falha e os eventos particulares é possível fazer uma decomposição detalhada até aos eventos mais simples, representando graficamente as relações através de comportas lógicas.

Recorrendo aos conhecimentos de Álgebra são desenvolvidas expressões matemáticas representando as “entradas” das árvores de falha. Cada comporta lógica tem implícita uma operação matemática, podendo ser traduzida em adições ou multiplicações. Estas expressões matemáticas são substituídas por probabilidades determinadas recorrendo a tabelas específicas, dados dos fabricantes, experiência anterior, etc.

Na figura seguinte é apresentada um exemplo de um Diagrama de Árvore de Falha.

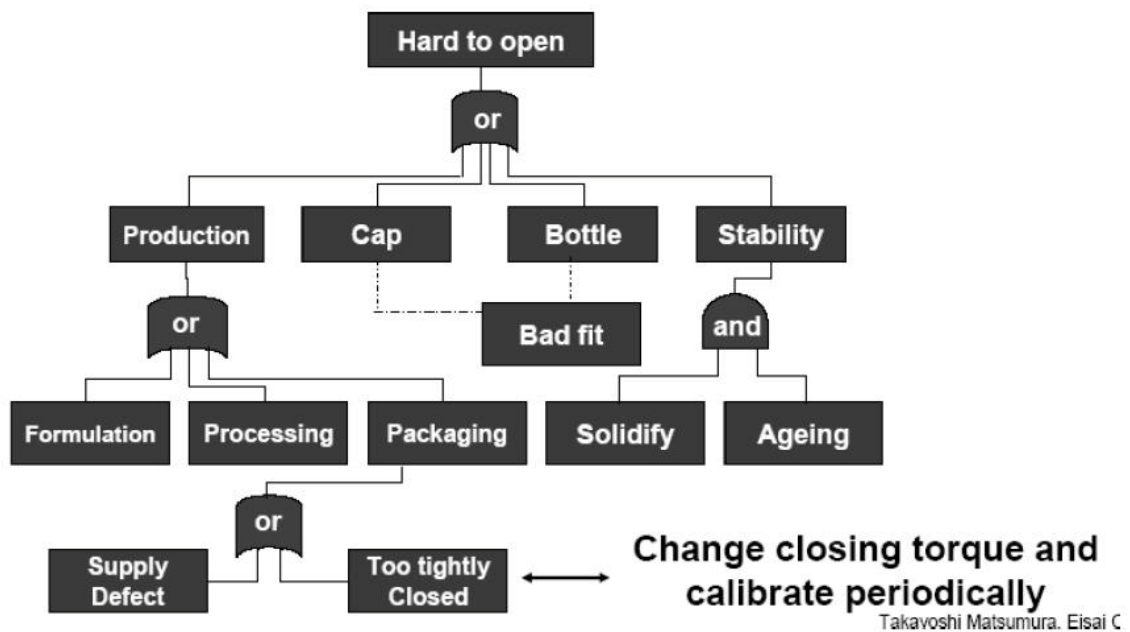


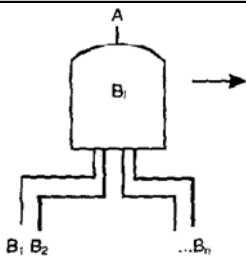
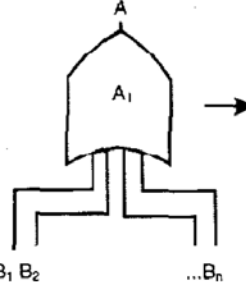
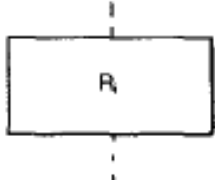
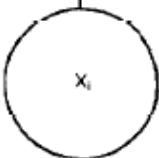

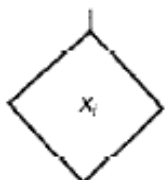
Fig.3 – Árvore de Falha [11]

As relações entre os diversos eventos são feitas através de “comportas lógicas” (terminologia utilizada na bibliografia consultada). Estas são representadas através de simbologia própria, onde podemos dizer que se trata de uma linguagem universal dado que existem pequenas diferenças entre diversos autores. Na tabela 5 serão apresentadas algumas dessas simbologias utilizadas no FTA.

Este método torna-se útil quando se deseja conhecer com que probabilidade o evento de topo é afectado pela probabilidade dos vários factores contribuintes, para ajudar a adoptar medidas correctivas e/ou preventivas.

A Árvore de Falha [11] leva ao analista um grande número de informação e conhecimento muito mais completo do sistema ou situação em estudo, propiciando-lhe uma visão bastante clara da questão e possibilidades imediatas de actuação, no sentido da correcção de condições indesejadas.

Tabela 5 – Exemplo de Comportas Lógicas [11]

Comportas Lógicas	
	<p>Comporta AND (E) – a saída A existe apenas se todos os B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ... B<sub>n</sub> existirem simultaneamente.</p>
	<p>Comporta OR (OU) – a saída A existe se qualquer dos B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ... B<sub>n</sub> ou qualquer combinação dos mesmos existir.</p>
	<p>Identificação de um evento particular. Quando contido numa sequência, usualmente descreve a entrada ou saída de um módulo AND ou OR. Aplicada a um módulo, indica uma condição que está limitada ou restrita que deve ser satisfeita.</p>
	<p>Um evento, que normalmente está relacionado com um mau funcionamento. Falha primária de um ramo ou série.</p>
	<p>Um evento que se espera que ocorra; normalmente um evento que ocorre sempre, a menos que se provoque uma falha.</p>
	<p>Um evento “não desenvolvido” devido a falta de informação. Também pode ser indicador de necessidade de investigação.</p>

## 2.4. HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINTS

O “Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)” [12] foi inicialmente concebido pela NASA com o intuito de reduzir o risco de os astronautas comerem alimentos contaminados enquanto se encontravam no espaço. Hoje em dia, os princípios desta metodologia têm vindo a ser promovidos e incorporados na legislação de segurança alimentar em diversos países.

Esta técnica tem sido aplicada no sector da restauração no controlo de perigos de contaminação dos alimentos nas diversas fases do processo, desde a recepção das matérias-primas, armazenamento, preparação até à confecção do produto final que chega ao cliente.

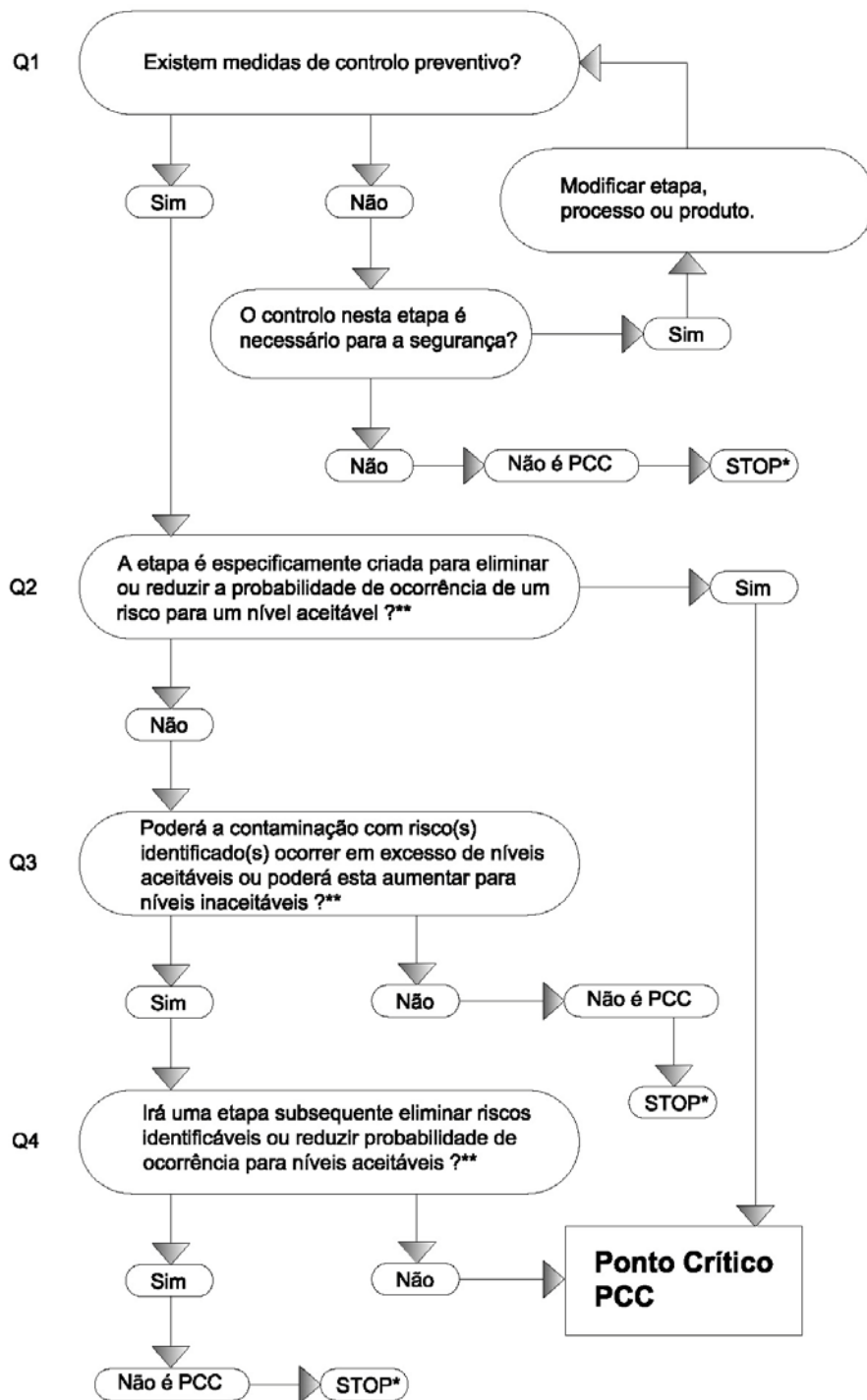
O HACCP é uma técnica conhecida para analisar os potenciais perigos das operações, identificando onde estes podem ocorrer e decidindo quais os perigos críticos para a segurança do cliente, evitando o “produzir e testar”.

A aplicação do HACCP consiste na formação de um equipa de Análise de Risco que define e descreve o plano de trabalhos, sendo este analisado em busca dos perigos. Os pontos realmente críticos onde podem ser aplicadas medidas preventivas são denominados por pontos críticos de controlo (CCP- Critical Control Points). Para auxiliar na identificação dos CCP's pode ser utilizado o diagrama decisório apresentado na figura seguinte.

Identificados os pontos críticos devem ser estudadas medidas preventivas para ajudar a controlar os seus efeitos negativos. Nesta análise devem ser tido em conta a probabilidade de ocorrência do perigo, gravidade dos seus efeitos, realizando uma avaliação quantitativa. Com base nesta avaliação são estabelecidas acções correctivas e procedimentos de verificação.

Em suma, o Sistema de HACCP baseia-se em 7 Princípios que definem uma sequência lógica para a elaboração de planos.

- 1º Princípio - Análise dos perigos.
- 2º Princípio - Determinação dos pontos críticos de controlo (PCC).
- 3º Princípio - Estabelecimento dos limites críticos para cada ponto crítico de controlo (PCC).
- 4º Princípio - Estabelecimento de procedimentos de monitorização para controlo de cada ponto crítico.
- 5º Princípio - Estabelecimento das acções correctivas a tomar quando um dado PCC se encontra fora dos níveis aceitáveis.
- 6º Princípio - Estabelecimento de procedimentos para a verificação que evidenciem que o sistema de HACCP funciona efectivamente.
- 7º Princípio - Estabelecimento de sistemas de registo e arquivo de dados que documentam todo o plano de HACCP.



\*Avançar para o próximo risco identificado no processo descrito

\*\*Níveis aceitáveis e inaceitáveis têm de ser determinados dentro dos objectivos gerais de identificação de PCC's do plano HACCP.

Fig.4 – Diagrama exemplo de identificação do ponto crítico [12]



## 2.5. “HAZARD OPERABILITY ANALYSIS”

O “Hazard Operability Analysis (HAZOP)” [13] é uma técnica que visa identificar os problemas de um processo verificando metodicamente o projecto.

A ferramenta HAZOP [14] foi criada pela Imperial Chemical Industries, LTD na década de 60. Esta indústria química britânica buscava o desenvolvimento de um método de análise de perigos em processos, efectuando modificações e observando as consequências destas mudanças.

O principal objectivo deste método é investigar de forma minuciosa e metódica cada segmento de um processo, identificando de uma forma sistemática todos os caminhos pelos quais os equipamentos do processo podem falhar. A sua metodologia é baseada num procedimento que gera perguntas de maneira estruturada e sistemática, através do uso apropriado de um conjunto de “palavras guia” aplicadas a pontos críticos do sistema em estudo. Estas “palavras guia” criam desvios dos padrões operacionais que são analisados em relação às causas e consequências, propondo recomendações para melhoria no processo de forma a reduzir a sua probabilidade de ocorrência.

Uma vez verificadas as causas e as suas consequências de cada tipo de desvio e avaliado a aceitabilidade do mesmo através de uma matriz de aceitabilidade previamente acordada, procura-se propor medidas para eliminar ou controlar o perigo.

Para a execução do HAZOP, além da participação de especialistas experientes, informações precisas, detalhadas e actualizadas a respeito do empreendimento, projecto e operação a ser analisado, é necessário dispor-se de informações sobre o processo, a instrumentação e a operação da instalação. Estas informações podem ser obtidas através de documentação, tais como especificações técnicas, procedimentos de operação e de manutenção ou por pessoas com qualificação técnica e experiência.

O HAZOP pressupõe a implementação de um equipa multidisciplinar de especialistas com diferentes experiências para estimular a criatividade e gerar novas ideias, tornando assim possível identificar mais problemas do que se cada um trabalhasse individualmente. Um ponto importante na selecção da equipa é que os membros devem ter uma larga experiência em projectos e processos semelhantes ao que será analisado.

HAZOP é essencialmente um procedimento indutivo qualitativo, não fornecendo, portanto, estimativas numéricas. Neste método o grupo examina um processo, gerando, de uma forma sistemática perguntas sobre o mesmo. Embora as perguntas sejam instigadas por uma lista de “palavras-chave”, surgem naturalmente através da interacção entre dos vários membros da equipa.

Tabela 6 – Palavras-guia usadas no processo HAZOP [13]

Palavras-guia	Desvios considerados
NÃO, NENHUM	Negação do propósito do projecto
MENOS	Decréscimo quantitativo
MAIS, MAIOR	Acréscimo quantitativo
TAMBÉM, BEM COMO	Acréscimo qualitativo
PARTE DE	Decréscimo qualitativo
REVERSO	Oposição lógica do propósito do projecto
OUTRO QUE, SENÃO	Substituição completa

## 2.6. “PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS”

A “*Preliminary Hazard Analysis, PHA*” [14] é uma técnica qualitativa para identificação de potenciais perigos decorrentes de num novo processo ou já existente.

A PHA consiste num estudo realizado durante a fase de projecto ou no desenvolvimento de qualquer processo ou produto, com fim de determinar os riscos que poderão estar presentes na fase operacional.

Esta técnica [13] permite uma avaliação dos riscos associados a cada um dos cenários de perigo identificados buscando as causas e os efeitos. Após uma avaliação qualitativa dos riscos identificados indicando a prioridade, são sugeridas medidas preventivas e/ou mitigadoras a fim de eliminar as causas ou reduzir as consequências.

A análise propriamente dita é feita através do preenchimento de uma folha de PHA para cada módulo de análise. A folha contém 7 colunas onde deve ser descrito o perigo, as causas, as consequências, a frequência, a severidade, o risco (estando estes 3 últimos definidos no quadro seguinte) e as recomendações para prevenção.

De acordo com a metodologia PHA, os cenários de acidente devem ser classificados em categorias de frequência, as quais fornecem uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência para cada um dos cenários identificados. Esta avaliação de frequência poderá ser determinada pela experiência dos componentes do grupo ou por banco de dados de acidentes.

Tabela 7 – Categorias de Frequências de Ocorrência dos cenários [13]

Categoria	Denominação	Faixa de Frequência	Descrição
A	EXTREMAMENTE REMOTA	$f < 10^{-4}$	Conceptualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
B	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
C	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
D	PROVÁVEL	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/ instalação
E	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/ instalação.

Os cenários de acidente também devem ser classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa da severidade esperada de ocorrência para cada um dos cenários identificados.

Tabela 8 – Categorias de severidade dos perigos identificados [13]

Categoria	Nome	Características
1	Desprezável	Não degrada o sistema nem seu funcionamento. Não ameaça os recursos humanos.
2	Marginal	Degradação moderada com danos menores. Não causa lesões. É compensável ou controlável.
3	Crítica	Degradação crítica com lesões. Dano substancial. Apresenta risco e necessita de acções correctivas
4	Catastrófica	Séria degradação do sistema. Perda do sistema, morte e lesões.

Para estabelecer o nível de Risco, utiliza-se uma matriz, indicando a frequência e a severidade dos eventos indesejáveis.

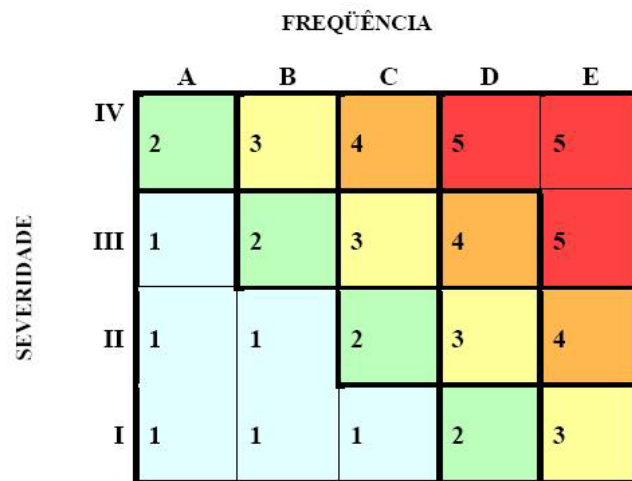


Fig.5 – Matriz Severidade \* Frequência [13]

Tabela 9 – Classificação do risco [13]

Risco	
1	Desprezável
2	Menor
3	Moderado
4	Sério
5	Crítico

Finalmente, procede-se à análise dos resultados obtidos, listando-se as recomendações de medidas preventivas e/ ou mitigadoras pela equipa de PHA. Esta análise permite o estabelecimento de prioridades das acções de prevenção.

## 2.7.MÉTODO MONTE CARLO

O “Método de Monte Carlo” [16] é um método estatístico que utiliza simulações estocásticas, sendo usado já há muito tempo como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas. É simplesmente um processo repetitivo de gerar soluções determinísticas para um dado problema.

Este método surgiu na Segunda Guerra Mundial durante o projecto Manhattan e considera-se a possibilidade de ter sido usado na construção da Bomba Atómica.

“Monte Carlo” [17] resolve problemas com números aleatórios, isto é, explora as propriedades estatísticas de uma série de tentativas aleatórias, estando a precisão do resultado final dependente do número de tentativas. Tipicamente, este método tem como princípio observar algumas distribuições de probabilidades, chegando a uma solução através de iterações.

A aplicação deste método a problemas complexos é computacionalmente pesada, contudo com o desenvolvimento dos computadores e da sua capacidade de cálculo tem levado a um crescimento de interesse pelo método. Normalmente milhares de simulações são necessárias, nomeadamente para serem tidos em consideração acontecimentos raros.

Para analisar o risco pela simulação de “Monte Carlo” [18] devemos elaborar a programação CPM do projecto. Observando de uma forma crítica, devemos estimar as incertezas relacionadas a prazos e/ou custos das actividades. Empregando o “Método Monte Carlo” obtemos as reservas de prazos e custos a ter em conta durante a obra. A especificação de um intervalo para a duração de uma actividade é mais realista do que precisar um único valor para a duração da mesma.

A simulação de Monte Carlo ficou conhecida por disponibilizar respostas aproximadas para problemas que seriam praticamente insolúveis de forma directa.

## 2.8.ANÁLISE COMPARATIVA

Todos os métodos descritos anteriormente ajudam na busca de potenciais falhas, contudo dependendo do método utilizado podemos chegar a soluções díspares ou mesmo pouco precisas.

O método causa efeito ajuda-nos encontrar as causas do nosso problema, contudo apenas obtemos uma representação gráfica, não busca soluções para o caso em estudo. Uma representação gráfica mais elaborada é o método de Árvore de Falha, pois para além da representação que nos ajuda a compreender melhor o problema, estima probabilidades, mas não estabelece prioridades. O mesmo ocorre com o método de Monte Carlo, este calcula a probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento o que nos ajuda a ter uma visão melhor dos riscos, mas não estabelece prioridades.

O método PHA assemelha-se ao FMECA, pois ambos classificam o risco e estabelecem qual acontecimento que devemos solucionar em primeiro lugar. A grande diferença está na forma como o classificam, tanto nas escalas de graduação como na apresentação dos resultados, pois através do PHA obtemos uma classificação qualitativa e no FMECA uma quantitativa. Mas apesar de existirem muitas semelhanças, os resultados obtidos podem não ser exactamente os mesmos, isto deve-se em parte à escala de graduação no PHA ser menos detalhada e à sensibilidade da equipa de trabalho. Contudo, os riscos mais críticos são encontrados e classificados como prioritários em ambos os métodos.

O método HACCP é totalmente dependente da equipa de trabalho escolhida, porque esta define todos os pontos de tomada de decisão. O mesmo se passa com o método HAZOP, pois este apenas orienta a busca de problemas e tomada de decisões, estando estas totalmente dependentes da equipa de trabalho.

Em suma, se aplicarmos os vários métodos para o mesmo caso de estudo ou equipas diferentes para o mesmo método, verificamos que muito provavelmente obteremos soluções divergentes, ou mesmo não conseguiremos chegar a uma solução. Isto deve-se ao facto de os estudos partirem de uma equipa de trabalho, dependendo muito da sensibilidade e experiência desta e de muitos métodos apenas descreverem o problema e não proporem medidas preventivas.

A título de comparação, na tabela seguinte serão apresentadas as principais características que diferenciam os vários métodos.

Tabela 10 – Tabela comparativa dos métodos de Análise de Risco

Método	Classificação	Acções de melhoria/prevenção	Comentário
Diagrama Causa -Efeito	Qualitativo; Não identifica nem classifica as principais causas.	Não proporciona respostas as perguntas.	Apresenta as causas principais do efeito.
FMEA/FMECA	Quantitativo; Avalia por meio de índices criados pela empresa; Identifica principais causas.	Propõe acções de melhoria.	Fácil utilização.
Árvore - Falha	Quantitativo; Estima probabilidades; Não estabelece prioridades.	Ajuda a adoptar acções de melhoria.	Necessita conhecer dados estatísticos.
HACCP	Avaliação quantitativa pela equipa; Probabilidades de ocorrência e gravidade.	Estabelece acções correctivas.	Utiliza diagrama decisório para encontrar os pontos críticos.
HAZOP	Qualitativo, não estabelece estimativas numéricas.	Propõe melhorias.	Necessita de uma equipa muito experiente.
PHA	Qualitativo; Indica prioridades; Classifica a frequência, severidade e risco.	Busca melhorias.	Utiliza banco de dados.
Monte - Carlo	Utiliza estatísticas.	Não propões melhorias.	Método muito complexo.

Todos os métodos ajudam na busca de potenciais falhas, contudo o FMEA tem uma grande vantagem relativamente aos restantes pelo facto de classificar e comparar todas as falhas encontradas, ordenando-as por prioridade na tomada de medidas preventivas.

## 2.9. SOFTWARE

No mercado existe uma grande variedade de programas que ajudam no desenho das representações gráficas e nos cálculos necessários para aplicar os diversos métodos de análises de risco. Numa pesquisa na Internet é possível encontrar uma grande variedade de software, sendo alguns deles fornecidos em versões Demo.

### 2.9.1. BLOCKSIM7 [19]

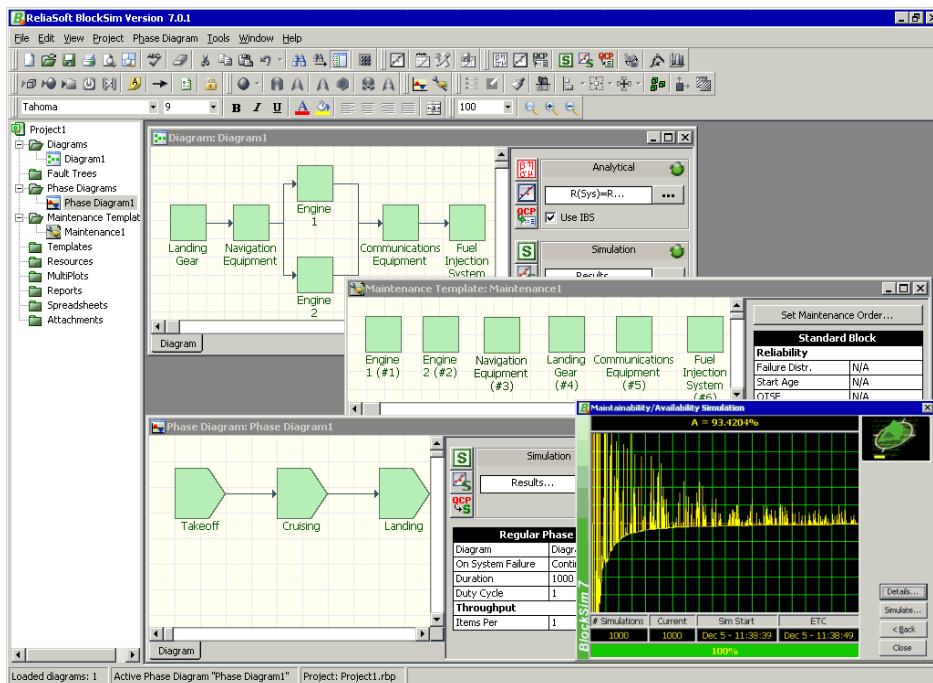


Fig.6 – Programa Blocksim7

Um dos programas encontrados e fornecidos em versão Demo foi o *Blocksim7*. Este software ajuda no método Árvore de Falha e consiste na introdução das varias fases do sistema utilizando o Diagrama de Fases, descrevendo como se comporta em cada fase ao longo do sistema. Depois de introduzido o diagrama é escolhida a variação (função estatística das funções pré-definidas) que melhor se adapta às probabilidades de cada fase. Através da simulação dos dados introduzidos é obtido o grau de confiança do sistema. Este software apenas simplifica cálculos, engenheiros diferentes com pontos de vista diferentes sobre o sistema obtêm resultados distintos.

### 2.9.2. FTA-PRO [20]

Segundo o fornecedor do programa *FTA-Pro* é possível importar para este dados analisados utilizando o *FMEA-Pro* e aplicar a metodologia da FTA na selecção de modos de falha. No cálculo este programa utiliza o Método de Monte Carlo, Binary Decision Diagram e Approximate Decomposition para que seja possível verificar os resultados obtidos 3 vezes. A principal vantagem da utilização deste programa é o facto de este simplificar os cálculos reduzindo assim o tempo de estudo de cada caso.

### 2.9.3. @RISK VERSION 4.1 [21]

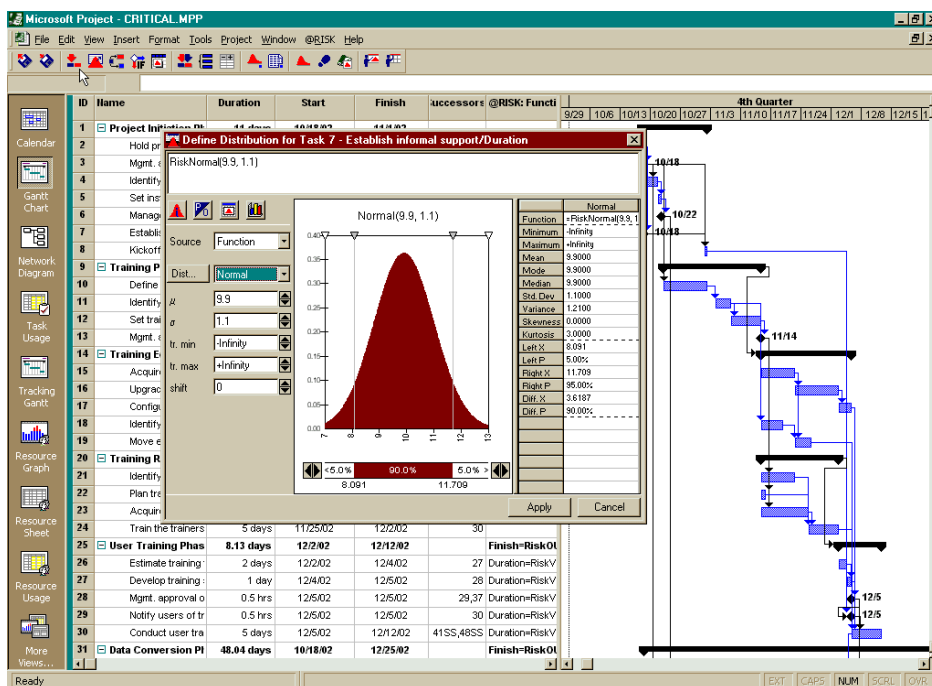


Fig.7 – Programa @Risk

Uma ferramenta quantitativa de análise de risco disponível no mercado é o *@Risk for Project*. Este software fornece todos os recursos para uma maior facilidade de utilização do *@Risk for Microsoft Excel*.

Recorrendo à simulação de Monte Carlo podemos analisar milhares de resultados diferentes verificando a probabilidade de ocorrência de cada um, identificando assim as situações críticas. Para tal basta introduzir valores incertos no projecto utilizando as funções do *@Risk*.

No *@Risk Microsoft Project* é introduzido o projecto e são identificadas as incertezas ao longo deste. Estas incertezas são substituídas por funções de probabilidades que representam toda a gama de valores possíveis que a nossa variável pode tomar.

Este programa facilita a criação de modelos e apresenta o que poderá acontecer em cada situação e a probabilidade com que pode ocorrer. Contudo, a tomada de decisão cabe a quem gere o projecto, sendo este responsável pela escolha da alternativa que melhor se adapta ao caso em estudo.

O facto de utilizar o *Microsoft Project* e *Excel* permite-nos visualizar e verificar todos os cálculos efectuados.

Existem versões adaptadas a projectos de construção, onde já é possível obter análise de risco de estimativas de prazos, planos, orçamentos e plano de recursos.

#### 2.9.4 HAZOP MANAGER VERSÃO 6.0 [22]

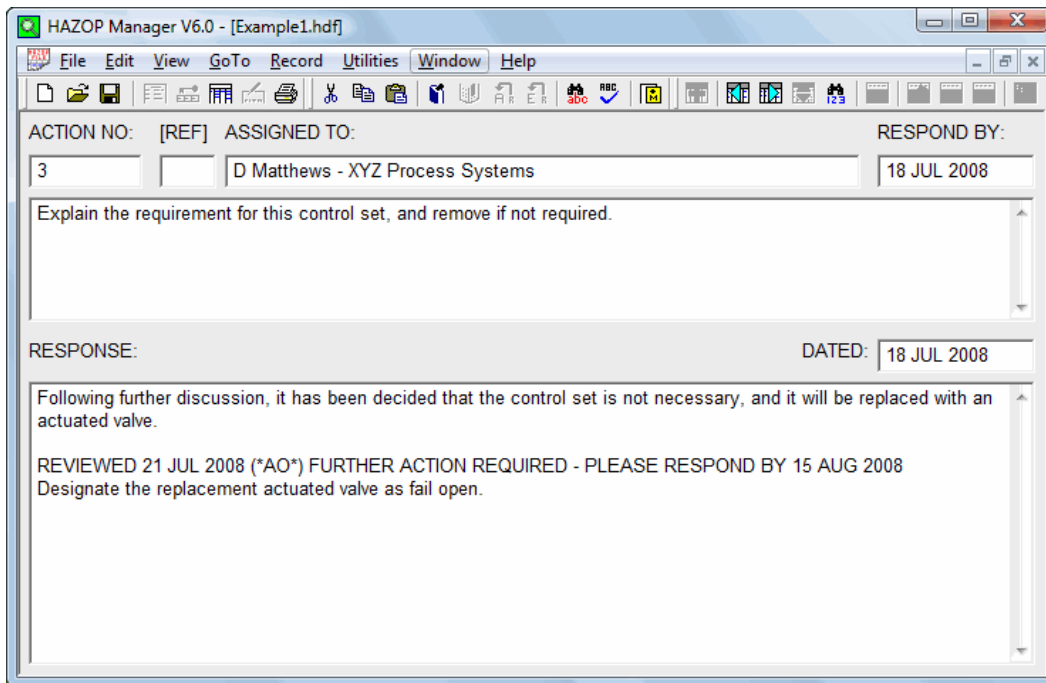


Fig.8 – Programa HAZOP Manager

*HAZOP Manager Versão 6.0*, tal como o nome sugere, utiliza o método HAZOP em análise de risco, contudo também está concebido para ser facilmente configurado para o uso em outras metodologias, como por exemplo PHA ou FMEA.

O programa consiste no preenchimento de um quadro que ajuda a equipa de decisão a manter o atenção e interesse no foco do problema durante as reuniões. Desta forma são realizados e organizados relatórios de cada reunião, sendo fácil consultar problemas anteriormente identificados e verificar a sua taxa de reprovação.

Este programas apenas ajuda no registo dos problemas e acções estudadas em equipa, sendo toda a análise de risco feita pela equipa.



## 2.9.5. FMEA-PRO[23], [24], [25]

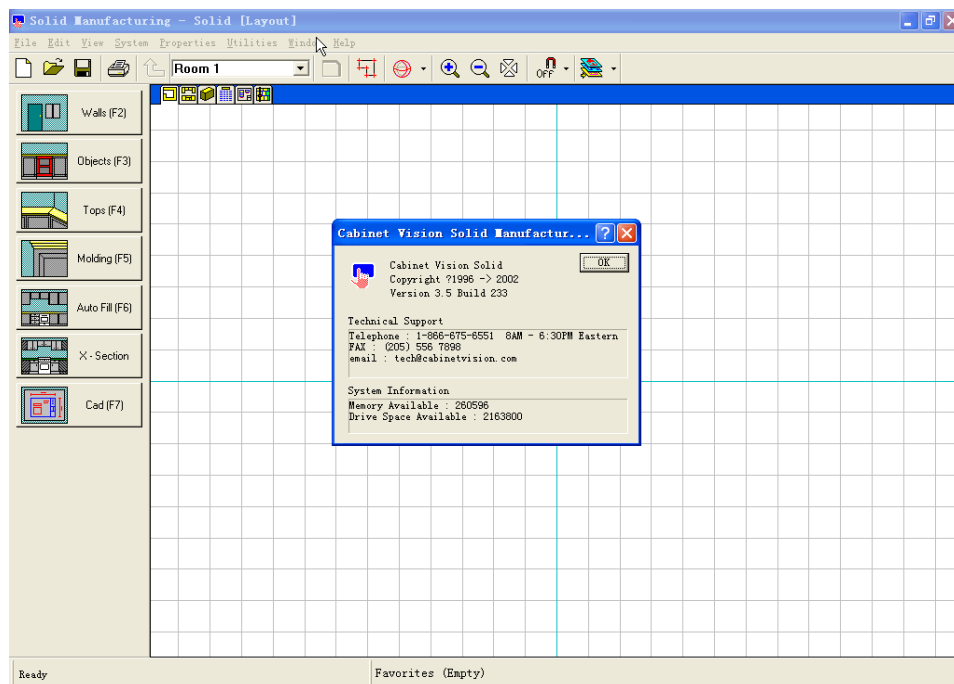


Fig.9 – Programa FMEA-Pro

O *FMEA-Pro*, segundo o fornecedor, analisa possíveis incumprimentos dentro de um sistema, identificando os potenciais riscos associados a estas falhas e classificando-os de acordo com a sua gravidade.

Este software parte da construção de um fluxograma e do preenchimento de um tabela, facilitando assim a análise visual dos dados. Este ajuda na comunicação dentro da empresa, partilhando informação, podendo esta ser alterada a qualquer momento para melhor acompanhar o processo. Os relatórios podem ser organizados segundo normas ou orientações (ex. ISO 9001:2000), podendo recorrer sempre a informação de arquivos já existentes no histórico da empresa.

## 2.9.6. RELEX ARCHITECT [26], [27], [28], [29]

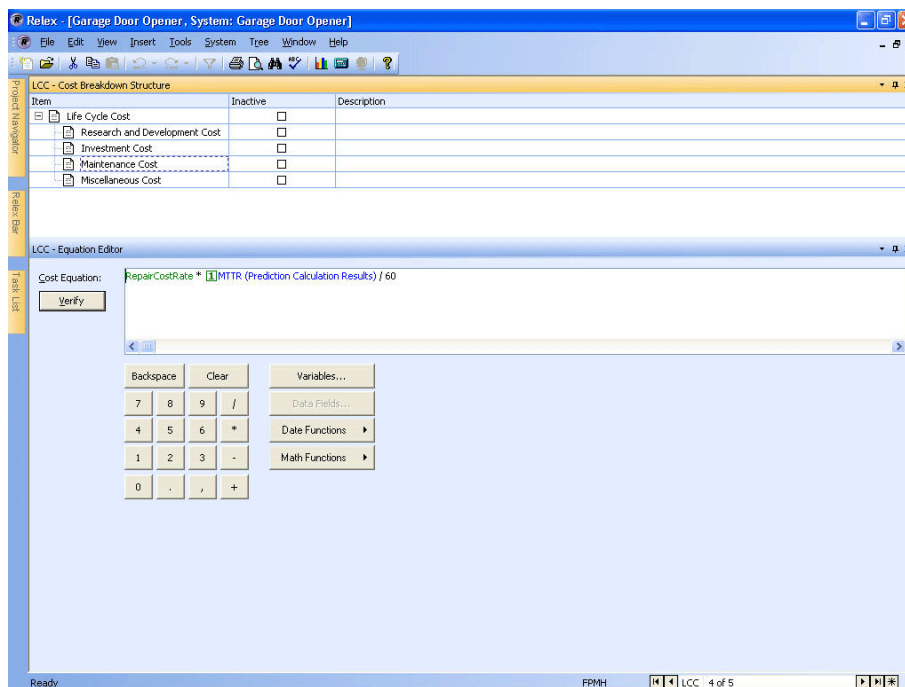


Fig.10 – Programa Relex Architect

O *Relex Architect* é um dos programas, disponíveis em versão Demo, mais completo. Pois é possível utilizar no mesmo problema vários métodos de análise de risco, tais como: FMEA, Event Tree e Fault Tree, entre outros, sendo possível passar de um para o outro accionando apenas os comandos na barra de tarefas.

Neste programa todos os resultados podem ser controlados e visualizados pelo utilizador, existindo uma variedade de apresentações de resultados, tanto em tabelas como em gráficos. Para além do cálculo do risco prioritário podemos introduzir e calcular os tempos médios e máximos necessários para reparar/corrigir ou mesmo prevenir tal falha. Podem ser definidas tarefas de reparação podendo ser detalhadas.

Para além do cálculo dos riscos, também faz cálculo dos custos do produto ao longo da sua vida útil, tais como: custo de falhas e sua reparação ou mesmo os custos de manutenção ao longo da sua vida.

## 2.9.7. COMENTÁRIO

Nesta pequena abordagem sobre os programas disponíveis no mercado, foi possível verificar que estes apenas ajudam no desenho das representações gráficas e nos cálculos puramente matemáticos. Contudo, o uso deste tipo de software pode auxiliar no ganho de tempo nos cálculos e uniformiza toda a informação, tornando assim mais fácil a comunicação dentro da empresa entre os vários departamentos.

Este tipo de Software não introduz uma metodologia de forma que dois técnicos diferentes obtenham resultados iguais ou mesmo próximos.

# 3

## MÉTODO FMEA

As múltiplas tarefas do dia-a-dia podem ser abordadas como actividades que envolvem um determinado nível de Risco, o qual ponderamos consoante a importância que atribuímos a dados acontecimentos.

O termo Risco é utilizado na economia, direito, administração para designar o resultado objectivo da combinação entre a probabilidade de Ocorrência de um determinado evento, aleatório, futuro e que não depende da vontade humana. Para a ciência, este conceito pode ainda ser mais específico ao classificar o Risco como a probabilidade de Ocorrência de um determinado evento que gere prejuízo económico.

No caso particular do sector da construção, o Risco do projecto acaba por ser um evento ou condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um objectivo do projecto, como tempo, custo ou qualidade.

O simples facto de executarmos uma actividade, abre a possibilidade da Ocorrência de eventos cujas consequências constituem oportunidades para obter vantagens ou ameaças ao sucesso. Um Risco pode ter várias causas e provocar múltiplos impactos, por isso este termo estará sempre associado à incerteza.

Diferentes organizações tentaram encontrar formas de avaliar os riscos, dependendo do contexto no qual o evento de risco está inserido. É na tentativa de tentar prever e controlar o factor Risco que surge a importância de possuir uma metodologia de acção. É precisamente aqui que entra a função da metodologia FMEA.

Neste capítulo será apresentada, desta vez numa forma mais detalhada, a metodologia FMEA entretanto já brevemente abordada no capítulo anterior.

### 3.1. ENQUADRAMENTO

A metodologia Modos de Falhas e Análise dos Efeitos [6], conhecida como FMEA, foi desenvolvida com o intuito de auxiliar no diagnóstico e previsão de falhas de equipamentos. FMEA é um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. O FMEA permite a hierarquização das causas dos problemas e estabelece parâmetros para a adopção de medidas preventivas ou correctivas.

O “Failure Modes and Effects Analysis” [7] é uma técnica indutiva que analisa sistematicamente todos os Modos de Falha de um sistema e identifica os efeitos resultantes destas falhas sobre outros itens e

sobre o sistema de maneira geral. Cada Modo de Falha é considerado individualmente como uma ocorrência independente, sem qualquer relação com outras falhas do sistema, salvo os efeitos subsequentes que possa produzir.

A aplicação do FMEA ainda é questionada por muitas organizações. Sendo considerado por alguns técnicos como *“trabalhoso e com custos tanto em termos económicos quanto em relação ao tempo. Além disso, muitas aplicações tem tido resultados insatisfatórios na sua aplicação devido a descrições inconsistentes das funções dos componentes do sistema e das falhas as quais eles estão sujeitos”*. [6]

Contudo, a aplicação do FMEA durante a fase de projecto pode detectar problemas mais cedo, resolvendo-os com o menor custo possível. Isto demonstra que o FMEA pode ser uma mais-valia, porém existe uma necessidade de aprimorar a sua aplicabilidade.

### 3.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

A técnica FMEA [5] pode ser aplicada transversalmente a todas as fases – concepção, projecto, construção e exploração – e aos subsistemas do empreendimento.

Os principais objectivos [7] desta metodologia são:

- Identificação dos modos de falhas dos itens de um sistema;
- Avaliação dos efeitos das falhas;
- Redução da probabilidade da ocorrência de falhas em projectos de novos produtos ou processos;
- Redução da probabilidade de falhas potenciais (ou seja, que ainda não tenham ocorrido) em produtos ou processos já em operação;
- Aumento da confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram;
- Redução dos riscos de erros e aumento da qualidade em procedimentos administrativos.

Na análise do sistema deve ser feito um estudo geral desde realçando as suas funções. Numa fase inicial de aplicação do FMEA deve ser definido o limite do sistema e o nível de análise pretendido. O limite do sistema constitui a interface física e funcional entre o sistema, o que o rodeia e compreende, nomeadamente, os outros sistemas com os quais o sistema analisado interage.

O sistema deve ser dividido em subsistemas, sendo a informação disponível e a experiência de utilização um critério para a sua decomposição. Pois caso o sistema seja pouco conhecido ou utilize técnicas recentes exige um maior detalhe e um nível de análise mais baixo.

Todo o processo de aplicação do FMEA [4] deve ser realizado por uma equipa de pessoas com conhecimentos diversificados dos sistemas em causa. Estes elementos colocam-se na posição de cépticos e respondem a uma sequência de questões que ajudam a identificar todos os Modos de Falha.

- Qual é o objectivo a atingir?
- Que acontecimento pode condicionar que se atinja esse objectivo?
- Como se pode detectar que esse acontecimento está eminente?
- Como diminuir a probabilidade de ocorrência desse acontecimento?
- Como reagir de forma a minorar as consequências de acontecimento?

Para cada Modo de Falha [5] encontrado são listadas as consequências dos efeitos potenciais negativos e suas causas mais prováveis.

A análise dos efeitos deve ser feita tendo em conta o rendimento do componente, quer no rendimento do sistema, quer ainda no grau de descontentamento, que a não conformidade surgida provoca no cliente, quer em termos de segurança e exigências regulamentares.

Os Modos de Falha podem ter origem em várias causas, como tal devem ser identificadas e descritas as causas independentes e mais prováveis. Em seguida procura-se a razão pela qual a exigência ou requisito falha, procurando dar resposta à pergunta “O que tem que acontecer para que a função seja desempenhada correctamente?”.

Os potenciais Riscos encontrados e definidos são classificados através dos índices Severidade, Ocorrência e Detecção (um exemplo das graduações são apresentadas no capítulo 2).

A Severidade é uma avaliação do impacte do efeito do Modo de Falha sobre o funcionamento do sistema em análise. Nesta classificação é tido em conta a gravidade do efeito para a operação seguinte, produto final e cliente.

A Ocorrência designa a frequência ou probabilidade de aparecimento de cada Modo de Falha. Para determinar a probabilidade deve-se recorrer a bases de informações e a históricos de ocorrência da falha em situações semelhantes ou reais.

No terceiro critério, Detecção, é medida a capacidade, após a ocorrência da falha, de esta ser identificada antes que o efeito final ao cliente tenha ocorrido.

Estes índices são escalas de graduação onde é feita uma avaliação probabilística de certas situações, sendo essas probabilidades associadas a escalas de 1 a 10.

O método mais utilizado para medir o risco associado a cada Modo de Falha é a multiplicação da pontuação dada para as classificações da Severidade, Ocorrência e Detecção.

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Com isto, obtém-se uma escala de 1 a 1000 pontos, sendo 1 um baixíssimo risco ao cliente e 1000 um risco crítico. Esta pontuação é chamada de Número de Risco de Prioridade (Risk Priority Number – RPN).

Os valores de RPN mais elevados serão em princípio tratados prioritariamente, mas é necessário realizar uma análise aos valores parciais. Isto deve-se ao facto de o critério Detecção por vezes camuflar as falhas com índices de Severidade e/ou Ocorrência muito elevados. Assim a análise do RPN exige precaução e bom julgamento por parte dos técnicos envolvidos.

Em abordagens mais recentes o critério Detecção deixou de ser considerado, passando a Severidade e Ocorrência a ser representadas num gráfico com áreas de risco. Esta representação ajuda a hierarquizar todos os Modos de Falha, sem esquecer os casos especiais em que existe uma grande discrepância entre a Severidade e a Ocorrência.

Com a classificação obtida pelo gráfico consegue-se prever o impacto relativo de cada falha e realizar uma ordenação das prioridades das acções a desenvolver para reduzir ou minimizar os efeitos negativos.

O passo subsequente será elaborar um plano de resposta ao risco com a implementação de acções correctivas. Para ajudar no controlo de resultados é elaborado uma tabela, onde são compilados os passos anteriormente descritos de forma sistematizada (ver exemplo capítulo 2).

De um modo geral podemos definir os principais passos para a aplicação da metodologia FMEA como um encadeamento de tarefas, tal como representado no diagrama seguinte.

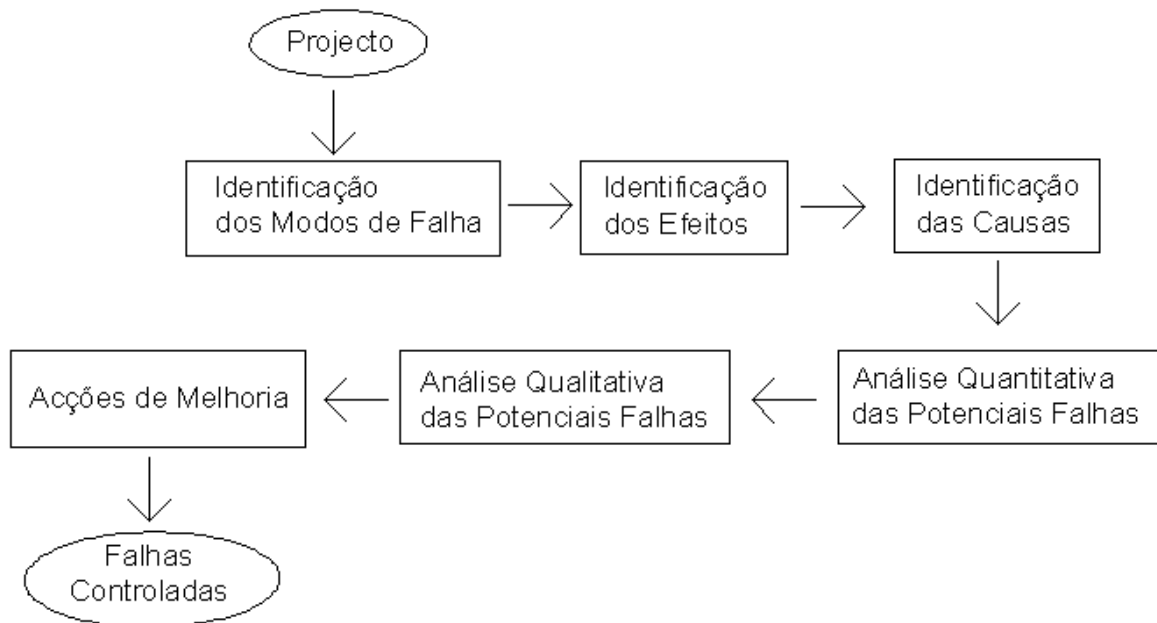


Fig.11 – Fluxograma de Análise de Risco pelo Método FMEA

### 3.3. APLICAÇÃO

A título de exemplo, para ajudar a compreender melhor a metodologia foi utilizado um projecto académico, utilizado numa das disciplinas do curso.

O projecto consiste na execução de uma piscina por parte de uma empresa de construção civil. No plano de trabalhos para além da realização da piscina e pavimentação da envolvente, também será realizada a casa das máquinas enterrada e instalação de todos os equipamentos de abastecimento e tratamento de águas, bem como esgotos e eléctrico.

Na tabela seguinte são apresentadas e descritas as actividades a realizar, a duração em dias, a equipa e os custos.

Tabela 11 – Descrição das tarefas

Tarefa	Descrição	Duração (dias)	Equipa	Custo (euros)
1	Escavação para realização de piscina e transporte de sobrantes	4	-	785
2	Execução de laje de fundo em betão levemente armado com 0.15 m de espessura	11	1P+2Serv	1730
3	Realização de alvenaria de blocos de betão de 0.15 m como fundo de cofragem de paredes	3	1P+1Serv	705
4	Execução de paredes da piscina em betão projectado, com 0.10 m, armado com malhassol	4	1P+2Serv	985
5	Cura do betão da laje de fundo e das paredes	21	-	-
6	Impermeabilização das paredes e fundo com argamassa hidrófuga armada com malha em fibra de vidro	8	2T+1Serv	930
7	Revestimento a pastilha das paredes e fundo	15	2T+1Serv	1715
8	Revestimento a pedra do bordo da piscina	4	2T+1Serv	2400
9	Realização de pavimento térreo em 1,5 m em torno da piscina, com base, massame e revestimento a placas refabricadas	10	1T+2Serv	1350
10	Construção civil da casa das máquinas, incluindo paredes e laje de cobertura	4	1P+1T+1Serv	1000
11	Instalações de águas e esgotos embebidas nas paredes e no fundo	2	1Tec+1Serv	750
12	Ligação da casa das máquinas às redes de águas, esgoto e electricidade	3	1 Tec +1Serv	1500
13	Instalação de equipamentos na casa das máquinas	2	1 Tec +1Serv	2250
14	Remates e equipamentos diversos	2	1 Tec +1Serv	1000
15	Limpezas, enchimento da piscina e ensaios	3	1 Tec +1Serv	600

Legenda: Tec – Técnico de piscinas; P – Pedreiro; Serv – Servente; T – Trolha.

Na análise do projecto foi feito um estudo geral do encadeamento das actividades, representando as tarefas num diagrama de Gantt. Desta forma ficou definido o nível de análise pretendido para o caso em questão.

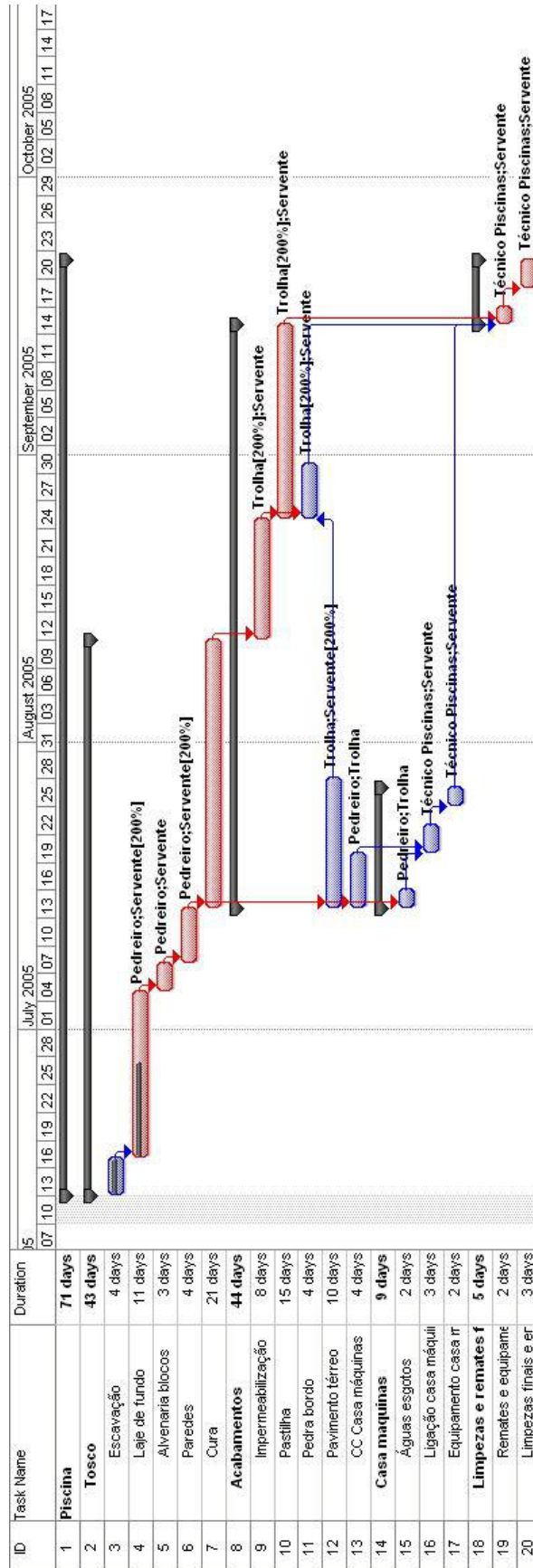


Fig.12 – Diagrama de Gantt da obra exemplo



Dado o projecto ser um estudo académico foram escolhidas aleatoriamente três actividades e imaginada uma possível falha em cada uma delas. Na tabela resumo da Análise de Risco, apresentada de seguida, foram listados todos os passos seguidos na classificação dos Modos de Falha.

Tabela 12 – Tabela resumo (hipótese 1)

Tarefa	Modo de Falha	Causa	Efeito	Severidade	Ocorrência	SxO	Acções
6	Comportamento deficiente da argamassa hidrófuga	Incompatibilidade na aplicação do material	Adaptação alteração da solução e eventual aumento da duração da actividade	4	5	20	Execução antecipada de amostras para aprovação do comportamento da argamassa
11	Alteração das datas previstas para vistorias	Tempo de resposta inadequado por parte das entidades oficiais	Atraso nas vistorias	3	2	6	Evidenciar antecipadamente perante o Dono de Obra as diligências necessárias.
13	Atrasos no fornecimento de equipamentos da casa das máquinas	Descontinuação da produção de equipamentos previstos instalar	Alteração das datas de montagem	9	7	63	Escolha cuidada do fornecedor

Para cada Modo de Falha encontrado foram identificadas as consequências dos efeitos e suas possíveis causas.

As graduações quanto à Severidade e Ocorrência foram realizadas utilizando as tabelas relativas ao FMEA apresentadas no capítulo anterior.

Analisando o quadro resumo verificamos que a tarefa 13 apresenta um RPN mais elevado e a tarefa 11 o mais baixo, ficando a tarefa 6 com um RPN intermédio. Desta forma os possíveis modos de falha ficam hierarquizados.

Observando o gráfico RPN seguinte, verificamos que a tarefa 13 é considerada de Risco Elevado e a tarefa 6 e 11 Risco Médio.

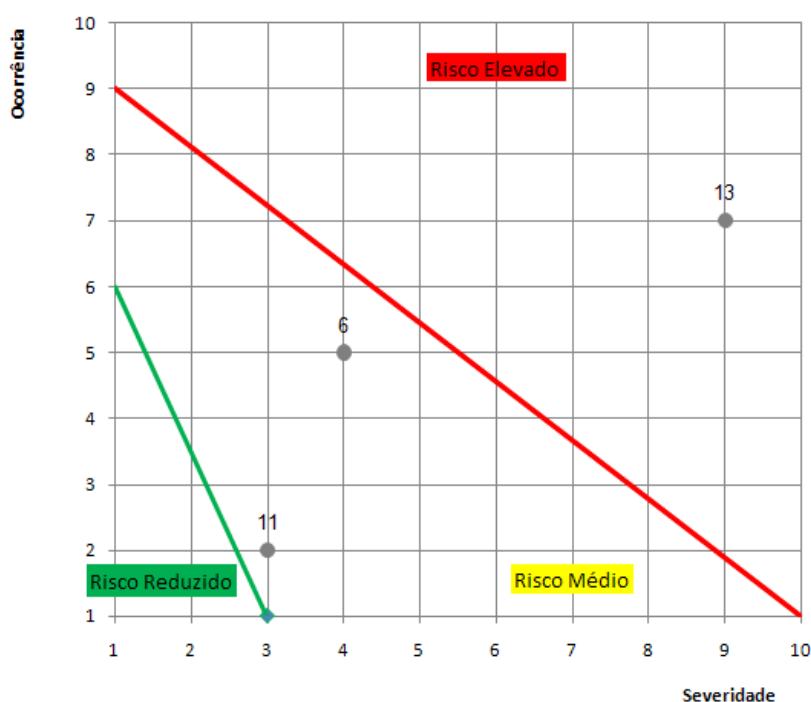


Fig.13 – Gráfico S\*O (hipótese 1)

Como se verifica, a graduação em termos de risco elevado, médio e baixo depende da apreciação efectuada pela equipa de Análise de Risco. Se, em hipótese, a equipa considerasse que a tarefa 6 pudesse comprometer toda a obra de uma forma muito grave e a tarefa 13 fosse menos severa no contexto do projecto, poderíamos apresentar o seguinte quadro resumo de classificação.

Tabela 13 – Quadro resumo (hipótese 2)

Tarefa	Modo de Falha	Causa	Efeito	Severidade	Ocorrência	SxO	Acções
6	Comportamento deficiente da argamassa hidrófuga	Incompatibilidade na aplicação do material	Adaptação alteração da solução e eventual aumento da duração da actividade	9	5	45	Execução antecipada de amostras para aprovação do comportamento da argamassa
11	Alteração das datas previstas para vistorias	Tempo de resposta inadequado por parte das entidades oficiais	Atraso nas vistorias	3	2	6	Evidenciar antecipadamente perante o Dono de Obra as diligências necessárias.
13	Atrasos no fornecimento de equipamentos da casa das máquinas	Descontinuação da produção de equipamentos previstos instalar	Alteração das datas de montagem	6	6	36	Escolha cuidada do fornecedor

Observando o quadro resumo verificamos que o RPN alterou-se consideravelmente. Com uma pequena alteração na atitude perante o projecto, a tarefa 13 deixou de ser considerada a prioritária, passando a tarefa 6 ser a mais gravosa.

No gráfico seguinte serão apresentadas novas classificações das tarefas.

Observando o gráfico RPN seguinte, verificamos que a tarefa 13 continua a ser considerada como de Risco Elevado, mas a tarefa 6 também se apresenta na área de Risco Elevado. Dado não ter sido feita qualquer tipo de alteração na tarefa 11 esta encontra-se com a mesma pontuação e na áreas de Risco Médio.

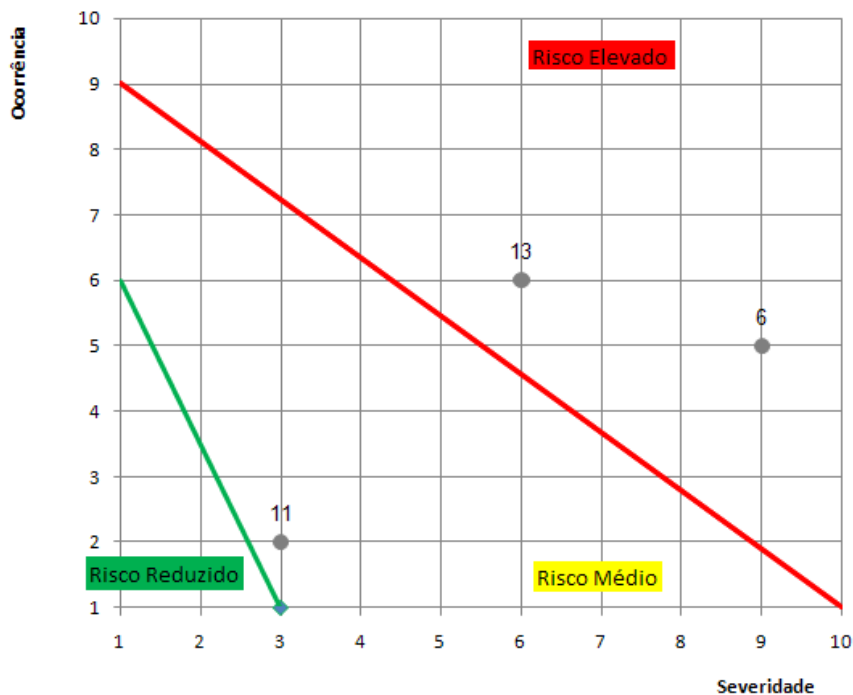


Fig.14 – Gráfico S\*O (hipótese 2)

Como podemos constatar, bastou uma pequena alteração nas considerações tomadas pela equipa de Análise de Risco para os resultados finais se poderem alterar completamente.

Seria portanto interessante poder utilizar uma formulação quantitativa que conseguisse auxiliar a estruturar os parâmetros Severidade e Ocorrência.

Tendo em conta a variabilidade observada, considera-se interessante explorar a possibilidade de utilizar aspectos da informação quantitativa (menos dependentes da percepção pessoal) da obra, como por exemplo prazos e custos.

O capítulo seguinte abordará precisamente essa mesma possibilidade de quantificação de factores mais directos e menos expostos a erro.



# 4

## PROPOSTA DE GRADUAÇÃO

Nos últimos anos [30] é recorrente ouvirmos falar na falta de responsabilidade no sector da construção. Esta alusão é feita devido à falta de competitividade das empresas Portuguesas comparadas com as suas congéneres europeias. Os sintomas de falta de competitividade há muito que se conhecem, ou seja: prazos ultrapassados, orçamentos excedidos, segurança deficiente, qualidade ausente, etc.

A falta de competitividade tem sido sistematicamente “desculpada”, argumentando-se as características próprias da actividade da construção, a estrutura empresarial, o desenvolvimento faseado dos projectos, a falta de formação da mão-de-obra, as condições atmosféricas adversas, etc.

Em Portugal não se conhecem estudos relevantes sobre as causas do incumprimento de prazos na construção, sendo no entanto frequentemente discutidas as consequências deste. O incumprimento de prazos tem sempre consequências graves e de difícil resolução, gerando prejuízos para os utentes e a frequente diminuição de rendibilidade para os promotores.

O desenvolvimento de metodologias para a gestão e controlo pode ajudar a dominar o problema e contribuir para a melhoria da gestão e da produtividade na construção. A aplicação do Método de Análise de Risco torna-se portanto num importante catalisador, ajudando a tornar o sector mais competitivo.

Por estas razões, debruçar-nos-emos precisamente sobre a aplicação do Método de Análise de Risco, dada a sua importância para a evolução qualitativa do sector.

### 4.1. PRINCÍPIOS

No capítulo 2 foram apresentados e descritos vários métodos de análise de risco, sendo possível verificar que em muitos deles os responsáveis têm um papel fundamental na resolução do problema.

O ideal seria criar uma metodologia em que a experiência dos responsáveis não tivesse um peso relevante, isto é, no momento da tomada de decisão duas pessoas com experiências diferentes estabeleceriam prioridades iguais ou muito próximas na hierarquização das medidas de prevenção.

Nos últimos anos a metodologia FMEA tem-se tornado uma referência na indústria da construção, revelando um elevado potencial na gestão de riscos nas várias fases do processo construtivo. Esta pode ser usada em diferentes fases e a vários níveis da empresa, nomeadamente durante a fase de concepção e desenvolvimentos do projecto tendo em vista a redução de falhas e optimização dos processos.

Numa fase inicial de aplicação deste método é criada uma equipa com conhecimentos diversificados do projecto, que se questiona tentando encontrar todos os possíveis Modos de Falha. Nesta equipa, pelo menos um membro deve ter um conhecimento menos detalhado do projecto para que consiga gerar um ambiente de reflexão para que todos os acontecimentos sejam identificados.

Numa abordagem clássica, após a discussão em equipa é feita uma avaliação do impacto do efeito do Modo de Falha sobre o funcionamento atendendo à sua gravidade. É atribuída uma classificação de 1 a 10, sendo 1 uma gravidade nula e 10 a pior possibilidade ao nível de consequências, obtendo assim a Severidade. Do mesmo modo é analisada a frequência ou a probabilidade de aparecimento de cada Modo de Falha com a graduação da Ocorrência, sendo os valores obtidos através da experiência do responsável ou de informações publicadas. Geralmente a cotação vai de 1 a 10, em que 1 corresponde a uma probabilidade muito remota e 10 a uma ocorrência muito frequente.

Assim, graduados todos os acontecimentos, é possível quantificar a amplitude relativa de cada falha e realizar uma hierarquização das prioridades de acção a desenvolver, para reduzir ou minimizar os efeitos que certas falhas podem originar.

## 4.2. ESTRATÉGIA DE GRADUAÇÃO

As escalas de graduação da Severidade e Ocorrência utilizadas no FMEA foram criadas num contexto industrial de produção em série, o que para uma aplicação na construção se encontram um pouco desajustadas levando por vezes a discrepâncias entre os profissionais na obtenção de resultados. Esta incongruência deve-se ao facto destas graduações fundamentais dependerem da experiência e percepção pessoal do técnico envolvido.

A metodologia FMEA tem revelado grande aplicabilidade em obras de engenharia e construção, contudo necessita de adaptações. Para padronizar os procedimentos é feita uma proposta para um novo parâmetro de Severidade, utilizando a escala quantitativa original.

O estudo do parâmetro Severidade revela-se de extrema importância, pois podemos inculir a este a análise de situações susceptíveis de condicionar o cumprimento de um prazo.

De uma forma geral, quando estudamos as possíveis falhas num projecto devemos ter em atenção:

- A sua origem (mobilização tardia das equipas; falha de fornecedores ou subempreiteiros; situações climáticas, sismos, inundações, ...);
- A sua incidência no plano de trabalhos (atrasos numa tarefa crítica; trabalhos extra);
- O seu impacto

Numa breve análise a um projecto verificamos que existem uma serie de tarefas dependentes umas das outras. A forma mais simples de estudar cada tarefa é criando um processo de avaliação sistemático que de uma forma metódica classifique cada tarefa quanto ao possível condicionamento da obra.

### 4.2.1. GRADUAÇÃO DA SEVERIDADE UTILIZANDO FACTOR "TEMPO" [4]

A primeira proposta foi feita pelo Orientador desta tese, tendo sido validada com uma Equipa de Análise de Risco num estudo de um projecto.

Segundo Moreira da Costa, a Severidade poderá ser avaliada através de 3 vertentes:

- Nível de ligação às actividades constantes do Planeamento da empreitada;
- Posição no desenvolvimento temporal da empreitada;
- Nível de efeitos directos e indirectos

Os parâmetros que podem ser classificados são os seguintes:

- **Número de Tarefas Subsequentes NTS** ligadas a uma tarefa à qual se encontra ligado um Modo de Falha (incluindo a tarefa em causa) – um Modo de Falha que produza efeitos em apenas uma tarefa subsequente será menos grave que quando afecta um grupo mais vasto;
- **Números de Tarefas Subsequentes situadas no Caminho Critico NTSc** – dentro do mesmo espírito, as tarefas subsequentes contidas no Caminho Critico deverão ser consideradas de forma mais gravosa;
- **Número de Tarefas Condicionadas NTC** – em face das condições estabelecidas no Programa de Concurso para o número de itens deverão ser considerados no Programa de Trabalhos a apresentar nesta fase, surgem diversas tarefas que, em termos de Plano de Trabalhos, não se encontram explicitamente ligadas a outras antecedentes embora tal vá suceder quando se proceder ao desenvolvimento do Plano de Trabalhos detalhado para implementação em obra; neste sentido, serão igualmente contempladas as tarefas, embora com um nível inferior às duas anteriormente citadas;
- **Número de Dias já Escoados NDE** desde o início da empreitada até ao início da tarefa em que se considere a ocorrência do Modo de Falha identificado – Modo de Falha em tarefas mais tardias possuem menor margem de manobra para recuperação que em tarefas mais próximas do início;
- **Índice de Severidade IS** obtido a partir da equação seguinte

$$IS = (NTS + NTSc^2 + 0,5 \times NTC) \times \frac{NDE}{\text{Prazo Global da Empreitada}} \quad (2)$$

Assim, com base nesta abordagem poderemos hierarquizar os Modos de Falha identificados e atribuir a graduação tradicional de Severidade a partir da subdivisão da amplitude da gama de valores de IS obtidos em 10 faixas de igual grandeza, podendo ser introduzidas correcções nas zonas de fronteira, em função da opinião dos profissionais envolvidos e de condições especiais que o processo de análise proposto não contemple de forma ajustada.

Neste sentido, será seguida a seguinte matriz de atribuição da graduação de Severidade

Tabela 14 – Graduação equivalente da Severidade Vs. IS

	IS Modo de Falha/ ISmax									
	≥0,9	≥0,8	≥0,7	≥0,6	≥0,5	≥0,4	≥0,3	≥0,2	≥0,1	<0,1
S	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Este procedimento é aplicável à generalidade das situações englobadas no Plano de Trabalhos, com duas excepções:

- **Tarefas iniciais**, ou seja, em que NDE é nulo ou muito pequeno – a aplicação da equação proposta irá sempre subavaliar o efeito de um Modo de Falha que envolva estas tarefas que podem, obviamente, condicionar enormemente o arranque da empreitada;
- **Tarefas finais**, ou seja, em que já não existem tarefas subsequentes ou estas sejam em número muito reduzido – a aplicação de equação proposta irá igualmente atribuir um IS relativamente pequeno, podendo tratar-se de casos (por exemplo testes de equipamento) com consequências graves para o fecho da empreitada.

Para estas situações, a graduação de Severidade será atribuída de forma directa pelo Equipa de Análise de Risco, procurando traduzir as diversas vertentes que estarão em jogo e os seus efeitos negativos.

#### 4.2.2. GRADUAÇÃO DA SEVERIDADE UTILIZANDO FACTOR “CUSTO”

Dando continuidade ao trabalho iniciado pelo orientador é apresentado um complemento à Severidade.

Não existem dois projectos iguais, independentemente das suas semelhanças, que custem exactamente o mesmo. Isto deve-se a uma grande diversidade de técnicas, materiais, equipamentos, qualificação da mão-de-obra, etc. No entanto, os custos fundamentais de um projecto baseiam-se no custo do pessoal, custo dos materiais e custo do equipamento.

Desta forma, a Severidade poderá ser avaliada segundo as seguintes vertentes:

- Pessoas: custo por pessoa mais elevado; número de pessoas na equipa;
- Materiais: materiais genéricos; materiais específicos; materiais à medida;
- Equipamento: equipamento próprio; equipamento específico.

Se olharmos de uma forma crítica para o custo de uma determinada tarefa podemos verificar que este se encontra de alguma forma ligado com a complexidade desta.

Por exemplo:

- O facto de um profissional ter um custo mais elevado que outro, está de alguma forma ligado com a sua especialização. O que faz com que a sua substituição seja mais difícil ou mesmo impossível, podendo levar a atrasos na tarefa caso este não a possa executar. Logo um profissional com um custo mais elevado acarreta mais risco à tarefa onde se encontra ligado;
- Numa equipa constituída por vários elementos é mais fácil reestrutura-la, caso haja falha de algum elemento, para que seja possível executar todos os trabalhos dentro do prazo estipulado. Logo, uma equipa constituída por muitos elementos tem uma Severidade menor do que uma com poucos.
- A entrega de um material genérico (material corrente no mercado) tem um risco inerente menor do que um material especial (material que não sai da linha de produção do



fornecedor mas que pode ter características especiais), pois é mais fácil recorrer a outro fornecedor caso este não consiga entregar atempadamente.

- Quando numa tarefa é utilizado um determinado material à medida, isto é, fora da linha de produção, sabemos logo à partida que este corre um risco muito elevado de não estar disponível no tempo exacto, pois o fornecimento desse material fica totalmente dependente de apenas um possível fornecedor.
- Ao trabalhar com equipamento próprio da empresa o risco de falha é muito menor, pois sabemos antecipadamente o estado em que este se encontra e se está disponível na data prevista. O mesmo não se passa quando é necessário recorrer a equipamento específico não disponível na frota da empresa.

Tendo em conta os principais recursos utilizados em cada tarefa e respectiva percentagem de distribuição, podemos partir da informação destes para hierarquizar os efeitos encontrados inicialmente, propondo um processo de avaliação indirecto para a Severidade. Os parâmetros utilizados nesta avaliação são os seguintes:

- **Número de pessoas por equipa N**, número de elementos que constituem a equipa de trabalho que se encontra ligado a um Modo de Falha;
- **Custo por Pessoa CP**, custo médio por pessoa, é a média calculada tendo em conta todos os elementos constituintes da equipa de trabalho que executará a tarefa em análise;
- **Material Genérico MG**, percentagem de custos em material corrente no mercado, isto é, material que caso ocorra a falha no fornecimento seja fácil substituir o fornecedor;
- **Material Especial ME**, percentagem de custos utilizado em material com características específicas, material que não sai da linha de produção mas com características especiais (exemplo, uma cor diferente);
- **Material à Medida MM**, percentagem de custos em material com características específicas para a tarefa que se encontra ligada a um Modo de Falha;
- **Equipamento Próprio EP**, percentagem de custos em equipamento próprio ou alugado mas com características usuais.
- **Equipamento Especial EE**, percentagem de custos em equipamento com características particulares para determinada tarefa.

$$ISc = \frac{1}{N} \times (1,5CP + 0,5 \times MG + ME + 1,5 \times MM + 0,5 \times EP + EE) \quad (3)$$

Esta metodologia tenta criar critérios para a hierarquização dos Modos de Falha, ajudando na tomada de decisão de acções preventivas. Logo, faz sentido criar um sistema de comparação entre os Índices obtidos pela expressão anterior descrita.

A seguinte expressão da Severidade utiliza a graduação quantitativa original e atribui pontuação atendendo ao Índice de Severidade Máximo obtido para o projecto em estudo.

$$S = \frac{9}{IS_{\max}} \times ISc + 1 \quad (4)$$

Este procedimento é aplicável a toda a generalidade do plano de tarefas, com excepção em duas situações:

- **Tarefas subcontratadas**, ou seja, tarefas em que só é conhecido o custo total e não é possível quantificar separadamente cada componente do custo final.
- **Tarefas sem custos afectados**, ou seja, tarefas em que não envolvam qualquer tipo de recurso, por exemplo tempo de cura do betão.

Para estas excepções a quantificação do parâmetro Severidade será atribuído de uma forma directa pela equipa de Análise de Risco, procurando traduzir as diversas vertentes que estarão em análise e os seus efeitos negativos. Desta forma, caso a tarefa condicione enormemente o arranque da obra, as tarefas subsequentes ou o fecho da empreitada deverão ser atribuídos índices de Severidade elevados. Contudo, a classificação destas excepções fica ao critério e sensibilidade da equipa envolvida.

A graduação final da Severidade, Severidade Global, que entrará para a classificação do risco em conjunto com o parâmetro Ocorrência poderá ser dada pela média entre a Severidade devido ao factor “tempo” e o factor “custo”. Nesta média puderam ser introduzidas estratégias de gestão da empresa, dando relevância a alguns dos factores, utilizando pesos diferentes nos índices.

#### 4.2.3. GRADUAÇÃO DA OCORRÊNCIA

Na análise do parâmetro Ocorrência deparamo-nos com uma dificuldade em padronizar da mesma forma que a Severidade. Pois neste caso a experiência e procedimentos da empresa são fundamentais na atribuição da graduação.

A variável Ocorrência, como descrito nos capítulos anteriores, está relacionada com a probabilidade ou frequência de aparecimento do Modo de Falha. Desta forma, a base de dados da empresa e a experiência dos profissionais envolvidos é fundamental para uma boa quantificação.

Mesmo não fazendo sentido quantificar matematicamente a Ocorrência, podem ser seguidas linhas de pensamento na sua graduação.

- As técnicas utilizadas para a execução de determinada tarefa podem ser, ou não, recorrentes ou de conhecimento da empresa/equipa. Logo uma técnica pouco conhecida deve ser classificada com uma Ocorrência elevada, caso contrário uma Ocorrência baixa;

- Existem actividades em que é necessária uma coordenação apertada dos trabalhos, pois a sequência das tarefas individuais pode ser fundamental para o seu cumprimento. Desta forma, deverá ser graduada com uma probabilidade de Ocorrência alta;
- A necessidade de fornecimento de grandes quantidades de materiais para uma mesma actividade requer uma atenção elevada, pois caso não seja possível fornecer a quantidade pretendida, toda a tarefa pode ficar comprometida. Nesta situação, caso exista a possibilidade de recepcionar o material com antecedência, poderá ser classificada com uma Ocorrência baixa, caso contrário uma Ocorrência elevada;
- A confiança depositada no fornecedor é fundamental para a classificação da Ocorrência. O facto de a empresa conhecer o desempenho do fornecedor pode variar muito na atribuição da graduação.

Esta e outras linhas de pensamento poderão ser criadas pela empresa, dependendo das características próprias do projecto em estudo. As orientações indicadas são apenas a título exemplificativo.

A experiência e procedimentos correntes da empresa influenciam na atribuição da qualificação da Ocorrência. Por esta razão a parametrização da Ocorrência de uma forma similar à Severidade não faz sentido.

#### 4.2.4. DETERMINAÇÃO RPN

Aplicando a nova abordagem FMEA, é calculado RPN – Risk Priority Number, tal como na abordagem original, que consiste na multiplicação dos valores obtidos através das escalas de graduação.

Nas abordagens mais tradicionais é considerado outro parâmetro D – Detecção, este é quantificado tal como os outros, numa escala de 1 a 10, sendo 10 impossível e 1 detecção certa por processos automáticos. Mas tal como foi explicado no capítulo anterior este parâmetro deixou de ser considerado nas abordagens mais recentes, tal fenómeno deve-se ao facto de este por vezes camuflar falhas com índices de Severidade e/ou Ocorrência muito elevados.

Os valores obtidos de RPN mais elevados são tratados, em princípio, prioritariamente, contudo é necessário fazer uma análise dos valores parciais. Deve ser levado em atenção valores parciais muito elevados, como por exemplo uma Severidade 10, esta apenas poderá ser admissível caso a Ocorrência seja necessariamente baixa, isto é, 1 – muito remota. Sendo assim a análise do RPN exige precauções e um bom julgamento por parte dos responsáveis.

Com o cálculo dos índices parciais e do RPN é possível quantificar e assim hierarquizar todos os Modos de Falha. Nas abordagens mais recentes os componentes Severidade e Ocorrência são representados num gráfico, onde se encontram áreas de risco. Esta representação ajuda assim a identificar os Modos de Falha que devem ser tratados prioritariamente, sem deixar de parte todos os casos especiais em que existe uma grande discrepância entre os valores da Severidade e da Ocorrência.

Identificados e classificados os Modos de Falha é possível elaborar um plano de resposta ao risco, implementando acções correctivas.

### 4.3. APLICAÇÃO

O projecto apresentado no capítulo anterior será novamente utilizado para uma nova Análise de Risco, desta vez com a abordagem proposta nesta dissertação. Atendendo ao facto de esta abordagem não necessitar de conhecer em detalhe os Modos de Falha, será feita uma análise de todo o projecto.

Dado a empresa e a obra serem fictícias, não é possível obter o historial da empresa. Como tal, para a determinação do parâmetro Ocorrência serão atribuídos valores arbitrados apenas com a finalidade de ajudar a compreender a proposta apresentada.

#### 4.3.1 FACTOR “TEMPO”

A graduação da Severidade atendendo ao factor “tempo” quantifica essencialmente 4 parâmetros:

- Número de Tarefas Subsequentes, NTS;
- Número de Tarefas Subsequentes situadas no Caminho Critico, NTSc;
- Número de Tarefas Condicionadas, NTC;
- Número de Dias já Esgotados, NDE.

Recorrendo ao diagrama de Gantt apresentado no capítulo anterior, facilmente são contabilizados todos os valores necessários para calcular o Índice de Severidade.

À tarefa inicial e final o Índice de Severidade foi atribuído directamente dado se tratarem das excepções prevista na proposta.

No quadro seguinte são apresentados os parâmetros parciais, o Índice de Severidade e a quantificação da Severidade seguindo a linguagem tradicional do FMEA.

Tabela 15 – Parâmetros parciais e Severidade para o factor “tempo”

Tarefa	NTS	NTSc	NTC	NDE	IS	S
1	14	8	0	0	0,0	8
2	13	7	0	4	3,5	4
3	12	6	0	15	10,1	10
4	10	5	0	18	8,9	9
5	5	4	0	22	6,5	7
6	4	3	0	43	7,9	8
7	2	2	0	51	4,3	5
8	2	2	0	51	4,3	5
9	3	2	0	22	2,2	3
10	2	2	0	22	1,9	2
11	2	2	0	22	1,9	2
12	1	2	0	26	1,8	2
13	0	2	0	29	1,6	2
14	1	1	0	66	1,9	2
15	0	0	0	68	0,0	3

No gráfico seguinte podemos observar cada tarefa na área de risco.

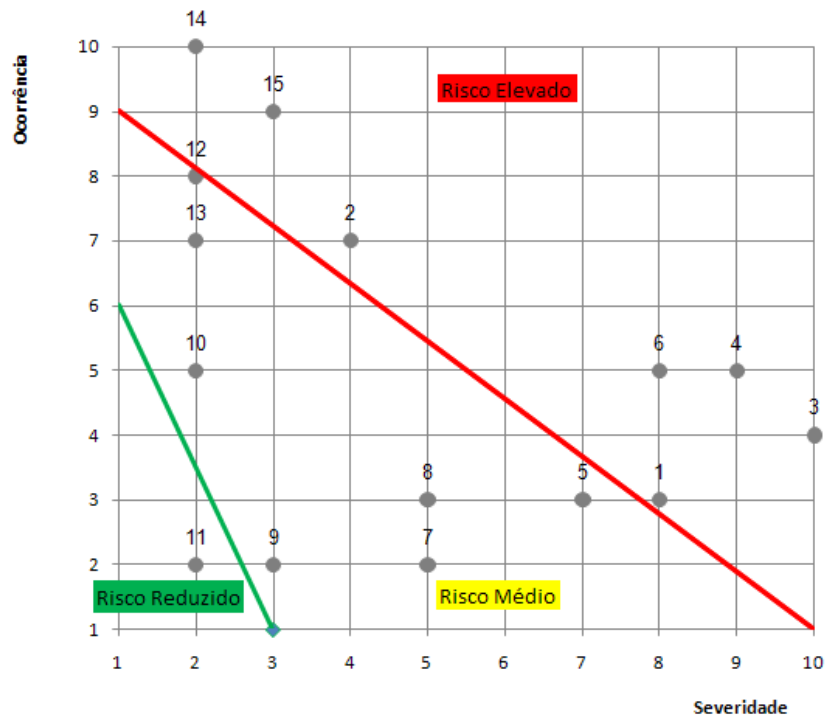


Fig.15 – Gráfico S\*O (factor "tempo")

#### 4.3.2. FACTOR "CUSTO"

Atendendo aos recursos utilizados em cada tarefa e respectiva percentagem de distribuição foi quantificada a Severidade para cada actividade. Esta classificação tem em atenção os seguintes parâmetros:

- Número de pessoas por equipa, N;
- Custo por Pessoa, NTSc;
- Material Genérico, MG;
- Material Especial, ME;
- Material à Medida, MM;
- Equipamento Próprio, EP;
- Equipamento Especial, EE.

No projecto utilizado no capítulo 3 inicialmente foram apresentados a equipa e o custo total para cada tarefa. Recorrendo aos custos totais fornecidos foi feita uma distribuição pelos diferentes parâmetros em estudo.

Às tarefas subcontractadas e sem custos afectados o índice de Severidade foi atribuído de uma forma directa (por exemplo, cura do betão da laje de fundo), dado se tratarem das excepções previstas na proposta apresentada.

No quadro seguinte são apresentadas as percentagens atribuídas a cada parâmetro parcial, o Índice de Severidade e a Severidade utilizando a escala de 1 a 10, segundo a linguagem tradicional do FMEA.

Tabela 16 – Parâmetros parciais e Severidade para o factor “custo”

Tarefa	N	CP	MG	ME	MM	EP	EE	IS	S
1	-	-	-	-	-	-	-	-	7
2	3	5%	53%	0	0	42%	0	0,18	4
3	2	8%	35%	0	28%	28%	0	0,43	8
4	3	5%	30%	0	0	20%	44%	0,26	5
5	-	-	-	-	-	-	-	-	7
6	3	10%	0	66%	0	25%	0	0,31	6
7	3	5%	74%	0	0	21%	0	0,18	4
8	3	4%	0	84%	0	13%	0	0,32	6
9	3	6%	0	46%	41%	7%	0	0,40	7
10	3	9%	50%	45%	0	5%	0	0,29	5
11	2	9%	27%	20%	18%	20%	7%	0,45	8
12	2	4%	67%	33%	0	0	0	0,37	7
13	2	3%	0	31%	46%	16%	4%	0,58	10
14	2	7%	50%	0	0	29%	15%	0,32	6
15	2	11%	48%	0	0	42%	0	0,30	6

No seguinte grafico são representadas tarefas nas áreas de risco.

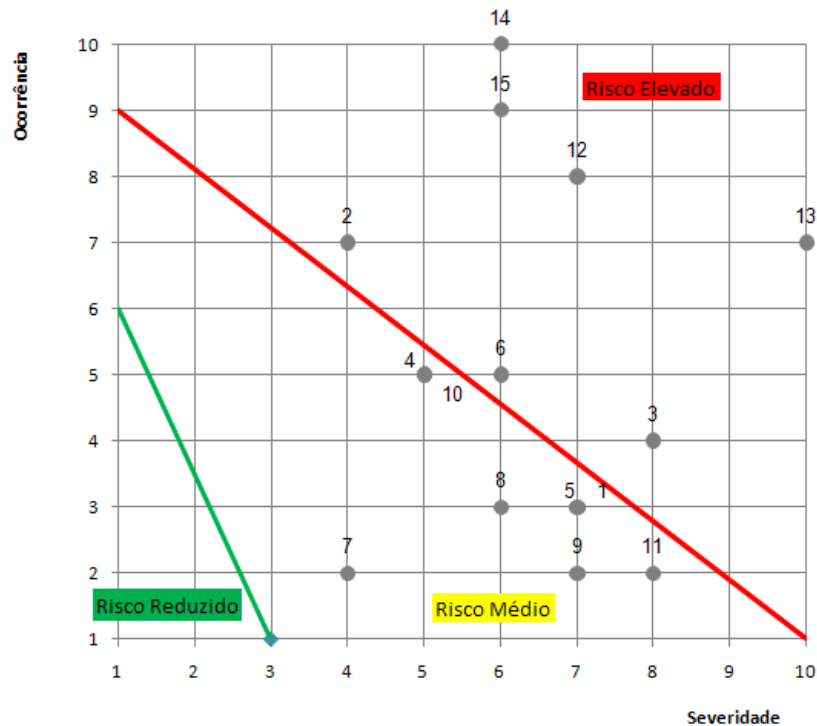


Fig.16 – Gráfico S\*O (factor "custo")

A graduação da Severidade Global, tal como a proposta feita nesta dissertação, poderá variar segundo a estratégia da empresa.

Nesta situação, dado se tratar de um projecto académico não temos acesso às políticas, por essa razão será feita a média aritmética com os valores da Severidade devido ao factor "tempo" e "custo". Contudo, como explicado anteriormente, o cálculo da Severidade Global poderá ser calculado através da média ponderada, adaptando-se melhor às estratégias da empresa relativamente ao projecto em estudo.

Na tabela seguinte são apresentados os valores da Severidade Global, Ocorrência e o RPN correspondente a cada tarefa.

Tabela 16 – Quantificação do RPN

Tarefa	S "tempo"	S "custos"	Severidade	Ocorrência	RPN
1	8	7	7,5	3	22,5
2	4	4	4	7	28
3	10	8	9	4	36
4	9	5	7	5	35
5	7	7	7	3	21
6	8	6	7	5	35
7	5	4	4,5	2	9
8	5	6	5,5	3	16,5
9	3	7	5	2	10
10	2	5	3,5	5	17,5
11	2	8	5	2	10
12	2	7	4,5	8	36
13	2	10	6	7	42
14	2	6	4	10	40
15	3	6	4,5	9	40,5

No gráfico seguinte são representadas as tarefas nas áreas de risco.

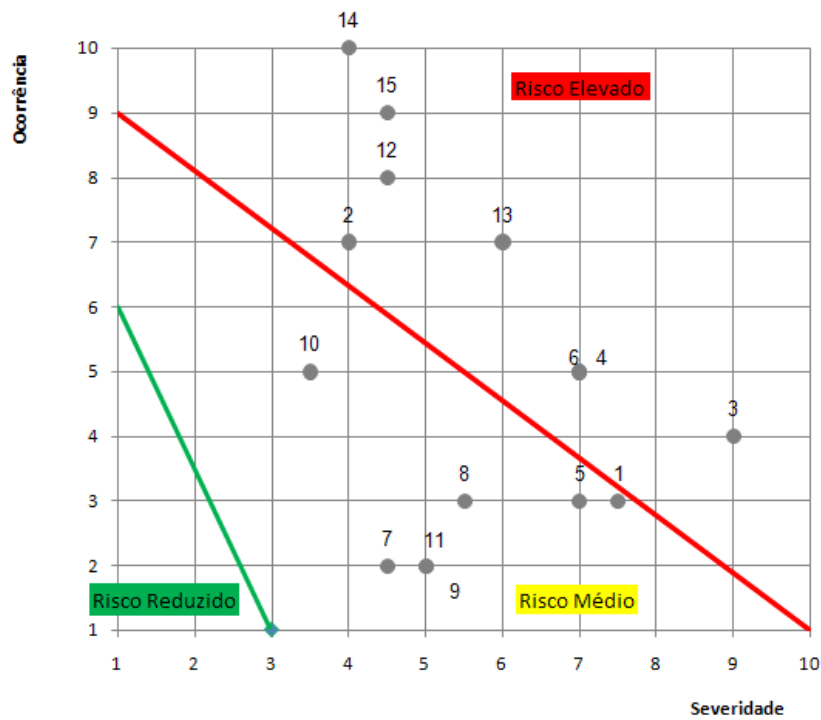


Fig.17 – Gráfico S\*O Global



#### **4.4. COMENTÁRIO**

Como podemos verificar com a aplicação desta nova metodologia o Índice de Severidade deixou de depender exclusivamente da percepção pessoal do técnico responsável pela Análise de Risco.

A metodologia proposta pode ser facilmente programável, tornando-a uma técnica de fácil aplicação na gestão de projecto.

Desta forma, podemos concluir que o objectivo proposto nesta dissertação foi conseguido.



# 5

## CONCLUSÃO

*"Anything that can go wrong, will go wrong."*

- Adágio conhecido como "Lei de Murphy"

Como é amplamente conhecido pela comunidade científica, a chamada "Lei de Murphy" serve na perfeição para ilustrar uma problemática bastante familiar a qualquer engenheiro: a eminência do erro.

*"Se alguma coisa puder correr mal, correrá mal."*

Esta máxima aplica-se com naturalidade ao problema em questão: Análise de Risco. Efectivamente, poder-se-á dizer que a Análise de Risco é, por si, uma prevenção à ocorrência da tão conhecida "Lei de Murphy". O engenheiro terá de assumir uma postura de algum pessimismo perante cada problema, ou seja, procurar antecipar o que poderá correr mal e tomar as acções necessárias para que tal não aconteça.

Ao que este estudo concerne, a popular "Lei de Murphy" torna-se na própria razão pela qual se realiza uma Análise de Risco. Basta constatar-mos que, tal e qual como foi neste estudo ilustrado, abundam situações no sector da construção em que é provável a ocorrência de falhas. Estabelecendo este facto, por uma questão de lógica se parte para uma atitude defensiva de detecção e prevenção das potenciais falhas. Essa mesma atitude céptica, de constante interrogação sobre as variáveis passíveis de condicionar o derradeiro objectivo do projecto, torna-se, efectivamente, uma mais-valia no sector da construção.

Deste modo, o desenvolvimento desta atitude, desta forma de pensar, pode ajudar a responder a problemas prementes ocorrentes no sector da construção como, por exemplo, ajudando este a inverter as estatísticas no que respeita ao cumprimento de prazos, requisito fundamental em qualquer empreendimento deste sector, já que a ocorrência de Modos de Falha, na grande maioria das situações, reflecte-se no planeamento estabelecido.

A proposta apresentada nesta dissertação procurou dar um contributo para uma melhor adaptação da linguagem de enquadramento industrial clássico na qual a FMEA foi criada, para uma abordagem mais adequada às características do sector da construção.

O parâmetro Severidade, quantificável através desta nova abordagem, pode ser facilmente sistematizado, transformando assim o FMEA numa ferramenta de mais fácil utilização por qualquer

profissional responsável pela Análise de Risco, pois deixa de depender inteiramente da percepção pessoal e da experiência, embora estas, obviamente, tenham sempre de ser integradas.

No respeitante ao parâmetro Ocorrência, pensamos que faz sentido estabelecer uma linha de pensamento que possibilite a sua definição, afastada da quantificação mais objectiva que foi apresentada para a Severidade. A probabilidade de surgir um dado Modo de Falha depende de cada obra, das condições endógenas e exógenas da mesma, pelo que a experiência da empresa e os conhecimentos da equipa são fulcrais para a sua definição. Querer substituí-los por um simples modelo matemático seria, em nossa opinião, um erro.

O sector da construção tem um conjunto de características muito específicas que o distinguem de todos os outros sectores de actividade. Cada projecto é independente e único, sendo por estas razões mais propício a ocorrência de riscos. A ocorrência de uma falha é inerente a este sector, contudo, é possível contrariar esta tendência criando acções de prevenção.

A ocorrência de uma falha normalmente acarreta para além dos custos normalmente elevados, um incumprimento dos prazos estabelecidos para execução do empreendimento, por esta razão em concursos públicos começou a surgir como exigência da aplicação de Análises de Risco aos projectos apresentados.

A Análise de Risco funciona como uma confiança depositada na empresa por parte do cliente. Pois para a detecção de possíveis falhas e tomada de medidas preventivas é necessário fazer um estudo pormenorizado de todo o projecto, garantindo assim um desenvolvimento detalhado de todas as etapas do processo construtivo.

Infelizmente para o sector, existem circunstâncias que tornam o estudo detalhado do processo construtivo num inconveniente do ponto de vista económico da empresa.

Efectivamente, em situações de concurso público, as empresas concorrentes despendem imenso tempo, dinheiro e recursos humanos no estudo detalhado do projecto sem no entanto terem qualquer garantia de que esse mesmo projecto será o adjudicado.

Constata-se portanto que este é um negócio onde as empresas se arriscam sem qualquer garantia de retorno. Até que ponto este facto não influenciará que empresas de menor dimensão (quando comparadas com as maiores do sector) se abstenham de apresentar proposta a concurso?

Podemos claramente afirmar que, para esta situação concreta, não existe uma “safety-net” para as empresas: todos os custos inerentes ao concurso só serão ressarcidos caso a empresa ganhe a adjudicação da empreitada.

Parece-nos que a posição do Estado nesta matéria deveria passar por prestar um maior auxílio ao sector nesta particularidade. Sendo o sector da construção vital para o desenvolvimento económico nacional (quer pelo facto de criar postos de trabalho, quer por ser o responsável pelo desenvolvimento das infra-estruturas), é de todo o interesse do Estado promover apoios e incentivos destinados ao sector.

De facto, fosse por intermédio de nova legislação que colocasse a Análise de Risco como pré-requisito obrigatório de qualquer obra, ou de incentivos à maior participação nos concursos públicos, o que é certo é que o Estado possui margem de manobra para imprimir um impacto positivo no sector.

Sugerimos por exemplo a hipótese do Estado passar a comportar, nas obras públicas, uma percentagem dos custos envolvidos no desenvolvimento da proposta a concurso público. No caso de obras privadas, o papel do Estado só poderá passar por acção legislativa. Legislação que visasse o

suporte de custos inerentes ao concurso por parte da entidade responsável (dono de obra), parece-nos ser uma solução apropriada para grandes obras de construção privada.

É profunda convicção nossa que, quer a proposta de uma nova abordagem à análise de risco, quer as sugestões que concernem possíveis novas legislações para o sector apresentadas nesta dissertação contribuiriam de forma positiva e eficaz para o desenvolvimento da qualidade e profissionalismo do sector da construção.

Um sector da construção forte, profissional e competitivo contribui em larga escala para um desenvolvimento económico e humano de um país.

Numa altura que a “reanimação” económica mundial está na lista de prioridades de todos os Governos e em que cada vez mais se salienta a importância de um Estado de bem, responsável e regulador, é fulcral que a sociedade civil alerte este para as situações que merecem toda a atenção, tal é a importância social e económica inerente.

Pela nossa parte, gostamos de pensar que com esta tese ajudamos a cumprir, exactamente, essa função.



**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Slattery, Kerry, *Risk Management of Construction-A Graduate Course*; Southern Illinois, 2001
- [2] Ramon, *Apontamentos*, Universidade Politécnica de Valência, 2008
- [3] Moreira da Costa, Jorge, *Apontamentos da disciplina Garantia da Qualidade 2008/2009*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008
- [4] Moreira da Costa, Jorge, *Apontamentos FMEA e FMECA*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008
- [5] Silva, Sónia. Fonseca, Manuel. Brito, Jorge. *Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios*. LNEC
- [6] Andrade, Luiz. Zardo, Claiton. Forcellini, Fernando. *O uso do FMEA como uma matéria para a confiabilidade no Projecto Conceitual*. Dissertação de Mestrado, CBGDP, Brasil, 2005.
- [7] Silva, Adriano. *Aplicação da metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) para realização de análise de falhas em um sistema de pontes de embarque de um aeroporto*. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 9 a 11 de Outubro de 2007, Foz do Iguaçu, 2007.
- [8] Palady, P. *Failure Modes & effects analysis: risk analysis and risk management*. PAL Publications, 1998
- [9] Toledo, José. Amaral, Daniel. *FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha*. Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade.
- [10] Filho, Salvador Simões. *Análise de Árvore de Falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- [11] *Análise de Árvore de Falhas: uma aplicação simulada*. Revista Tecnologia Fortaleza, Dez 1999
- [12] *Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application*, FAO Corporate Document Repository, 1997
- [13] Aguiar, Lais Alencar. *Metodologias de Análise de Riscos APP & HAZOP*, Rio de Janeiro
- [14] Barata, Eduardo dos Santos. *Ganhos na redução de impactos ambientais como resultado da aplicação da técnica de confiabilidade HAZOP*. Monografia para Especialista, Universidade Federal da Bahia, 2007.
- [15] Fruhauf, Dílson., Campos, Douglas., Huppes, Mauro. *Aplicação da ferramenta análise preliminar de riscos – Estudo de caso indústria frigorífica de frangos*, Trabalho para obtenção do título de Engenheiro de Segurança no Trabalho, Paraná, 2005.
- [16] <http://www.eltonminetto.net/docs/monteCarloDistribuido.pdf>
- [17] Colli, Prof. Dr. Eduardo, *Métodos de Monte Carlo e Aproximações  $\pi$  de* , Laboratório de Matemática Aplicada, 2002.
- [18] Diniz, Lúcio. *Análise de Riscos em Projectos: Abordagem Qualitativa ou Quantitativa?*, 2004.
- [19] <http://www.reliasoft.com/BlockSim/> Março 2009
- [20] <http://www.dyadem.com/products/ftapro/index.php> Março 2009
- [21] <http://www.katalogo.com.br/Produtos/?idproduto=CAT0370001-0> Março 2009
- [22] <http://www.lihoutech.com/> Março 2009

- [23] <http://www.dyadem.com/products/fmeapro/> Março 2009
- [24] <http://www.dyadem.com/products/fmeamed/> Março 2009
- [25] <http://www.itemsoft.com/fmeca.html> Março 2009
- [26] [http://www.relexbrasil.com.br/products/pdfs/relex\\_mp\\_ds.pdf](http://www.relexbrasil.com.br/products/pdfs/relex_mp_ds.pdf) Março 2009
- [27] <http://www.relex.com/products/lcc.asp> Março 2009
- [28] [http://www.relexbrasil.com.br/products/pdfs/relex\\_mp\\_ds.pdf](http://www.relexbrasil.com.br/products/pdfs/relex_mp_ds.pdf) Março 2009
- [29] <http://www.relex.com/products/fmeafeca.as> Março 2009
- [30] <http://an-gc.com> Maio 2009
- [31] Pires, A. *Qualidade: sistemas de gestão da qualidade*. Sílabo, Lisboa, 2004