

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCUMPRIMENTO DE PRAZO DE EMPREITADAS DE CONSTRUÇÃO

PEDRO MATEUS ENES GONÇALVES

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

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Fachana Moreira da Costa

MARÇO 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ mec@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

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

**À minha maior força,
Minha amada irmã,
Catarina Mateus Enes Gonçalves**

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todas as pessoas que me acompanharam não só nesta fase da minha vida académica, mas sim a todos aqueles que acompanharam o caminho que percorri até este ponto. Independentemente do tempo ou da altura, obrigado a todos.

Em primeiro lugar, obrigado à empresa Garcia Garcia S.A. e aos colaboradores que me acompanharam, por me terem recebido e me terem dado a hipótese de desenvolver este trabalho, sempre apoiando-me da melhor forma e dando-me a possibilidade de ver a indústria de outra forma.

Em segundo lugar, agradeço ao Professor Doutor Jorge Moreira da Costa por me ter possibilitado desenvolver esta dissertação, contagiando-me durante todo o processo com a sua motivação à volta do tema e com o acompanhamento que me proporcionou durante o decorrer do trabalho, tornando-o assim possível.

Em terceiro lugar, agradeço a toda a minha família, aos meus avós, à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão João, por serem a minha casa. Não posso não deixar um especial agradecimento ao meu pai e colega, Eng. Rui Enes, por me ter inculcido a vontade de envergar a vida da engenharia, motivando-me sempre a ser a melhor versão possível, mostrando-me que com trabalho e dedicação tudo é possível.

Falta ainda um agradecimento inesperado para mim; Obrigado Inês, por todo o apoio e carinho durante todo o processo. Obrigado ainda, por seres uma prova viva que a resiliência e o esforço por mais difícil que sejam, irão dar frutos que valem a luta.

Por último, a todos os meus amigos, que me proporcionaram a alegria e o apoio necessário para percorrer a minha vida pessoal e académica. Sei, que os que me ajudaram e marcaram sabem que este obrigado lhes é dirigido. Mas nesta fase final, tenho de deixar um especial agradecimento à minha amiga Mafalda e à minha amiga Xica por terem passado o “circo” que passaram comigo.

RESUMO

Os projetos de construção civil são de elevada complexidade e extensão, o que frequentemente origina atrasos, representando um grande problema na indústria da construção. Estes refletem-se em custos extras, disputas legais e diminuição da qualidade do projeto, entre outros.

Por conseguinte, a indústria da construção necessita de constante evolução para se manter em conformidade com as exigências atuais. A gestão de risco é uma prática fundamental para garantir o sucesso de um projeto, minimizando riscos e maximizando oportunidades, que deve ser implementada desde o início do projeto até à sua conclusão. Esta tem por base a melhoria contínua, integrada na gestão da qualidade, requisitos fundamentais para qualquer empresa que pretende manter-se competitiva e em constante melhoria de processos.

Tendo este pressuposto como base, a presente dissertação aborda a eficácia da aplicação de uma adaptação da metodologia de análise de risco, FMEA, fundamentada em normas internacionais e em estudos prévios, com o intuito de avaliar o risco de incumprimento de prazos de empreitadas de construção. O objetivo consiste em permitir a priorização das tarefas de um plano de trabalhos, para a execução dos planos de mitigação e de ações corretivas de forma eficiente e o menos subjetiva possível. O sucesso da aplicação da metodologia tornar-se-á numa grande mais-valia para o cumprimento dos prazos estipulados.

Em virtude do apoio da empresa, Garcia, Garcia Design and Build, foi possível, com recurso ao software de planeamento *MS Project* e a software de análise de dados *MS Excel*, simular-se a aplicação da FMEA a duas obras distintas, com a possibilidade de comparação à realidade, a fim de averiguar a validação da metodologia para análise do risco de incumprimento de prazos. Durante esse processo foram desenvolvidas duas propostas para melhoria da aplicação da metodologia, com a finalidade de diminuir os níveis de subjetividade e facilitar a interpretação de resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão da Qualidade, Melhoria Contínua, Gestão de Risco, Análise de Risco, FMEA.

ABSTRACT

Civil construction projects are highly complex and extensive, which often leads to delays, which represents a major problem in the construction industry. These are reflected in extra costs, legal disputes and decrease in project quality, among others.

Therefore, the construction industry needs constant evolution to keep up with the current demands. Risk management is a fundamental practice to ensure the success of a project, minimizing risks and maximizing opportunities, which should be implemented from the beginning of the project until it is completed. This practice is based on continuous improvement, integrated in the quality management, which are key requirements for any company that intends to remain competitive and in constant improvement of processes.

With this assumption as a starting point, this dissertation addresses the effectiveness of applying an adaptation of the risk analysis methodology, FMEA, based on international standards and previous studies, in order to assess the risk of non-compliance with deadlines in construction works. The objective is to enable the prioritization of the tasks of a work plan, for the execution of mitigation plans and corrective actions in an efficient and as less subjective manner as possible. The successful application of the methodology will become a great asset to meet the stipulated deadlines.

Thanks to the support of the company Garcia, Garcia Design and Build, it was possible, using the planning software MS Project and the data analysis software MS Excel, to simulate the application of the FMEA to two different construction sites, with the possibility of comparison with reality, in order to verify the validation of the methodology for the analysis of the risk of non-compliance with deadlines. During this process, two proposals for improving the application of the methodology were developed, with the aim of reducing the levels of subjectivity and simplifying the interpretation of results.

KEYWORDS: Quality Management, Continuous Improvement, Risk Management, Risk Analysis, FMEA.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	V

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS.....	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2

2 ESTADO DA ARTE 5

2.1. GESTÃO DA QUALIDADE	5
2.1.1. MELHORIA CONTÍNUA EM ENGENHARIA	5
2.1.2. GESTÃO DE RISCO.....	6
2.2. METODOLOGIAS PARA A ANÁLISE DE RISCO	8
2.2.1. HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS, HAZOP	8
2.2.2. ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS, FTA.....	10
2.2.3. DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO.....	11
2.3. SOFTWARES DE ANÁLISE DE DADOS	13
2.3.1. MICROSOFT EXCEL – ETAPA DE ANÁLISE DE DADOS.....	13
2.3.2. MICROSOFT PROJECT – ETAPA DE PLANEAMENTO	13
2.3.3. AUTODESK BUILD.....	14
2.4. GARCIA, GARCIA DESIGN AND BUILD.....	15
2.4.1. A EMPRESA	15
2.4.2. MELHORIA CONTÍNUA NA GARCIA, GARCIA, S.A.	15
2.4.3. EXEMPLOS DE PROJETOS.....	16

3 MÉTODO FMEA E CASOS DE ESTUDO 19

3.1. ENQUADRAMENTO.....	19
3.2. FMEA	20
3.3. ABORDAGEM FMEA ADOTADA.....	23
3.3.1. ALTERAÇÕES NA METODOLOGIA ADOTADA:	23
3.3.2. METODOLOGIA DOS CASOS DE ESTUDO	24
3.4. CASOS DE ESTUDO	33
3.4.1. OBRA_1	33
3.4.2. OBRA_2	36

3.4.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	39
4 PROPOSTA DE AVALIAÇÃO COMPLEMENTAR	41
4.1. INTRODUÇÃO	41
4.2. METODOLOGIA DE BASE.....	41
4.3. PROPOSTA DE AVALIAÇÃO	42
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OBRA_1	44
4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OBRA 2.....	45
4.6. VALIDAÇÃO.....	48
4.6.1. JUSTIFICAÇÃO DA VALIDAÇÃO	48
5 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Processo de gestão de risco, ISO 31000:2018, [7].	7
Figura 2-2 - Fases da metodologia HAZOP, [10].	9
Figura 2-3 - Exemplo da construção de Árvore de Falhas, [9].	11
Figura 2-4 - Exemplo de Diagrama de Causa-Efeito, [13].	12
Figura 2-5 - Áreas de aplicação do Autodesk Build, [14].	15
Figura 2-6 - Unidade industrial da Casfil, [2].	17
Figura 2-7 - Centro logístico LIDL, [2].	17
Figura 3-1 - Exemplificação da tabela a preencher pela equipa, [15].	20
Figura 3-2 - Exemplo do planeamento em <i>MS Project</i> , [19].	25
Figura 3-3 - Exemplo da tabela eficiente de gestão e cálculo de dados no <i>Microsoft Excel</i> , [19].	26
Figura 3-4 - Exemplo da Listagem de Tarefas.	29
Figura 3-5 - Inquérito <i>Google Forms</i> .	30
Figura 3-6 - Exemplo da tabela de cálculo do valor da <i>Ocorrência</i> correspondente ao questionário.	30
Figura 3-7 - Exemplo da tabela de cálculo de <i>O_f</i> .	31
Figura 3-8 - Gráfico das áreas de risco em função da graduação dos dois parâmetros (<i>Severidade*Ocorrência</i>), [15].	32
Figura 3-9 - Exemplo da representação gráfica dos resultados em <i>Excel</i> , Gráfico de Dispersão, [19].	32
Figura 3-10 – Exemplo de tabela do cálculo de RPN por ordem decrescente de RPN.	33
Figura 3-11 - Fotografia Edifício Administrativo Garland Valadares.	33
Figura 3-12 - Excerto do Planeamento da Obra_1.	34
Figura 3-13 - Exemplo da tabela de cálculo de S e RPN, Obra_1.	34
Figura 3-14 - Tabela resumo dos parâmetros, referente à Obra_1.	35
Figura 3-15 - Tabela do cálculo de RPN por ordem decrescente, Obra_1.	35
Figura 3-16 - Gráfico de dispersão de RPN, Obra_1.	36
Figura 3-17 - Fotografia do edifício da Borgwaner, Viana do Castelo.	36
Figura 3-18 - Tabela de Cálculo de S e RPN, Obra_2.	37
Figura 3-19 - Tabela resumo, Obra_2.	37
Figura 3-20- Excerto Tabela RPN, Obra_2.	38
Figura 3-21 - Gráfico de Dispersão (S, O), Obra_2.	39
Figura 4-1- Representação Gráfica dos Níveis de Risco.	41
Figura 4-2 - Representação Gráfica das três Áreas de Avaliação.	42

Figura 4-3 - Representação Gráfica dos Níveis de Risco, linhas diagonais, em conjunto com a Áreas de Avaliação, linhas verticais.	43
Figura 4-4 - Tabela Representativa da Área 3, Obra_1.	44
Figura 4-5 - Tabela Representativa da Área 2, Obra_1.	44
Figura 4-6 - Tabela Representativa da Área 1, Obra_1.	44
Figura 4-7 - Tabela Representativa da Área 3, Obra_2.	46
Figura 4-8 - Tabela Representativa da Área 2, Obra_2.	46
Figura 4-9 - Tabela_1 Representativa da Área 1, Obra_2.	47
Figura 4-10 - Tabela_2 Representativa da Área 1, Obra_2.	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 - Palavras-chave utilizadas no HAZOP e desvios considerados, [4].	9
Tabela 3-1 - Exemplo de classificação do índice Severidade, [16].	22
Tabela 3-2 - Exemplo de classificação do índice Ocorrência, adaptado [16].	22
Tabela 3-3 - Exemplo de classificação do índice Detecção, [16].	22
Tabela 3-4 – Tabela de equivalências, relação entre a Severidade (S) e o Índice de Severidade (IS), [4].	26

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BIM - Building Information Modeling

D - Detecção

DFMEA

ETA - Event Tree Analysis

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

FTA - Fault Tree Analysis

HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Point

HAZOP - Hazard and Operability Study

IEC - International Electrotechnical Commission

IS – Índice de Severidade

ISmax - Índice de Severidade máximo

ISO - International Organization for Standardization

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDE - Número de Dias Escoados

NTC - Número de Tarefas Condicionadas

NTS - Número de Tarefas Subsequentes

NTScc - Número de Tarefas Subsequentes no Caminho Crítico

O – Ocorrência

O_f – Ocorrência final

PDCA – Plan-Do-Check-Act

PT – Plano de Trabalhos

RFIs – Request For Informations

RPN - Risk Priority Number

S – Severidade

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os projetos de construção civil, pela sua complexidade e extensão, sofrem, com frequência, atrasos na sua concretização, constituindo um dos maiores problemas na indústria da construção. Estes atrasos podem ter consequências tanto a curto como a longo prazo. A curto prazo, os atrasos podem resultar em um aumento dos custos, na diminuição dos lucros e em disputas legais. A longo prazo, esses atrasos podem levar a uma diminuição da qualidade do projeto desenvolvido e a um possível fracasso do mesmo. Por conseguinte, é importante que os interessados compreendam as potenciais consequências dos atrasos nas obras de construção civil e implementem medidas adequadas para os atenuar.

De forma a reduzir os potenciais atrasos nas obras de construção civil, existem várias medidas que as partes interessadas podem adotar. Uma delas será a prática proativa de gestão de risco, tais como programação e análise detalhada dos projetos, permitindo antecipar e minimizar potenciais fontes de atraso. Além disso, as partes interessadas devem assegurar que todos os envolvidos no projeto estejam adequadamente preparados e equipados para desempenhar as suas funções, assim como devem estar estabelecidos canais de comunicação eficientes a fim de identificar e resolver rapidamente quaisquer problemas que possam surgir.

A Gestão de Risco está englobada na perspetiva de melhoria contínua, sendo um processo sistemático que visa identificar potenciais riscos e adotar medidas proativas para os mitigar. Por sua vez, a Análise de Risco inclui a identificação dos potenciais riscos, categorização dos mesmos e avaliação das suas consequências. O processo envolve, geralmente, a identificação, análise e resposta a potenciais riscos. Uma vez identificados, é desenvolvido um plano de gestão de riscos com o intuito de, conforme referido, os mitigar. Para além da identificação e gestão dos riscos, a análise também envolve a determinação da probabilidade de ocorrência, as consequências e o impacto dos riscos no projeto, [1].

Esta dissertação visa a avaliação e melhoria da eficiência da adaptação de uma metodologia de análise de risco, priorizando o distanciamento da subjetividade inerente à mesma e, na realidade, a todos os processos de análise de risco.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

A melhoria contínua é um aspeto essencial em qualquer indústria, e a construção civil não é exceção. Na verdade, pode argumentar-se que a melhoria contínua é ainda mais crítica nesta indústria devido aos seus desafios e complexidades únicas. A indústria da construção civil está em constante evolução, com novas tecnologias e materiais sendo desenvolvidos, bem como com a introdução de novas regulamentações e normas sendo introduzidas. Deste modo, é imperativo que as empresas de construção

civil adotem a melhoria contínua para se manterem atualizadas dessas mudanças e garantir que estão a atingir os melhores resultados possíveis para seus clientes.

A empresa Garcia, Garcia S.A. [2], está empenhada na melhoria contínua em todos os aspetos das suas operações. Esta empresa acredita que a melhoria contínua é essencial para manter a sua vantagem competitiva e fornecer o melhor serviço aos seus clientes. Esta capacidade inerente à empresa, extremamente inovadora do ponto de vista da melhoria contínua na engenharia, foi-lhes permitida através da implementação direta da norma ISO 9001:2015, [3].

Como a construção é uma das maiores e mais complexas indústrias do mundo, é crucial garantir que a qualidade seja mantida em cada fase do ciclo de vida do projeto. A melhoria contínua é o processo que permite analisar e avaliar constantemente as práticas de trabalho, sistemas e processos de modo a identificar áreas passíveis dessa melhoria e, conseqüentemente, implementar mudanças que incrementem a qualidade e eficiência. O desenvolvimento deste trabalho explora como a aplicação da adaptação da metodologia de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA Failure Modes and Effects Analysis), com base em [4], pode contribuir para a melhoria contínua da gestão de riscos em projetos de construção.

De uma forma sintética, a Análise de Risco é um processo essencial que deverá ser realizado antes do arranque de uma obra de construção civil, assegurando que o projeto seja concluído da forma mais eficiente e rentável, em função da mitigação de potenciais riscos.

O objetivo desta dissertação consiste no aperfeiçoamento desta metodologia visando a eficiência da mesma, priorizando o distanciamento da subjetividade inerente à análise de risco. Para tal, foi utilizada uma combinação dos softwares *Microsoft Project* e *Microsoft Excel* para ajudar na recolha e análise de dados relevantes. O *Microsoft Project* foi utilizado para definir as atividades do projeto e suas interdependências, enquanto o *Microsoft Excel* foi usado para o cálculo do grau de risco e definição das tarefas a que devem ser priorizadas nas etapas de mitigação do risco. A combinação das duas ferramentas permitiu uma análise mais abrangente e eficiente, garantindo a priorização adequada dos riscos no projeto de construção para posterior identificação e mitigação dos mesmos como a FMEA exige.

Como suporte e validação das propostas, foram utilizadas duas obras já concluídas da empresa, efetuando a análise de risco como se ambas ainda se fossem iniciar e, posteriormente, analisando com os envolvidos nas obras se as tarefas identificadas como de maior risco estiveram, efetivamente, dentro do grupo das que maior influência teve em relação à dificuldade de cumprimento de prazo.

Esta validação permitiu, assim, avaliar o grau de risco inerente às tarefas definidas no planeamento geral de obra, de uma forma mais segura mesmo partindo de uma base empírica, visando garantir a boa aplicação da metodologia FMEA em projetos de construção.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, seguindo a seguinte estruturação:

O Capítulo 1 tem como o objetivo introduzir o tema abordado assim como o contexto em que se insere e os objetivos que se propõe atingir com o trabalho.

O Capítulo 2, *Estado da Arte*, expõe os conceitos abordados, introduzindo a noção de Gestão da Qualidade e de Análise de Risco, descrevendo as metodologias existentes e qual o objetivo da aplicação de cada uma delas, debruçando-se sobre as que apresentam maior relevância para o decurso desta dissertação, esclarecendo, ainda, sobre alguns softwares utilizados em Análise de Risco. Por fim é elaborada uma descrição da empresa Garcia, Garcia S.A., cujo contributo foi vital neste projeto.

O Capítulo 3, *Método FMEA e Casos de Estudo*, descreve, de forma pormenorizada a metodologia FMEA, procedendo a uma explicação de aplicação da mesma enquadrada nos dois casos de estudo.

O Capítulo 4, *Proposta de Avaliação Complementar*, apresenta uma metodologia de Análise Complementar, desenvolvida nesta dissertação que tem como objetivo facilitar e sistematizar a forma como se interpretam os resultados obtidos. Também é exposta a sua aplicação nos casos práticos, assim como as conclusões retiradas da aplicação da mesma.

Por fim, o capítulo 5, *Conclusões*, especifica quais as ilações retiradas na concretização deste estudo, assim como quais os potenciais trabalhos futuros e aperfeiçoamento deste.

2 ESTADO DA ARTE

2.1. GESTÃO DA QUALIDADE

2.1.1. MELHORIA CONTÍNUA EM ENGENHARIA

A gestão da qualidade tem como objetivo aumentar a satisfação do cliente e a eficiência dos projetos desenvolvidos. Com esse intuito é aplicado o princípio de melhoria contínua, cujo intuito é identificar oportunidades de otimização de projetos, redução de desperdícios e aumento da eficiência. Esta é uma prática fundamental em qualquer área e motiva o aumento da satisfação do cliente, gerada pela obtenção de produtos finais de qualidade superior, consequência do aumento da monitorização de parâmetros relevantes para essa qualidade [5].

A adoção de normas e padrões internacionais é o procedimento mais corrente de implementação de metodologias de melhoria contínua em contexto empresarial. Estas estabelecem requisitos mínimos para a implementação de um sistema de gestão da qualidade. Um dos exemplos dessa normalização é a ISO 9001:2015, [3], que tem a sua aplicação nas mais variadas áreas, estando focada na gestão de qualidade, aspeto essencial e obrigatória na gestão de uma empresa. Complementando o uso das normas, é crucial a utilização de ferramentas que facilitem a identificação de problemas e, consequentemente, oportunidades de melhoria. Considerando que a engenharia e, em particular, na área da construção, corresponde a uma área extremamente ampla, os avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de softwares direcionados para os diferentes ramos e que permitem uma melhor monitorização dos projetos.

A implementação de um processo de melhoria contínua na engenharia civil conduz a vários benefícios, como a redução de custos, a melhoria da eficiência e a melhoria da qualidade dos produtos e serviços. Além disso, a melhoria contínua pode ajudar a detetar e solucionar problemas antes que se tornem críticos, através da Análise de Risco, conduzindo a um impacto positivo e significativo na segurança assim como na qualidade dos projetos de Engenharia Civil.

Como referido, a adoção de normas internacionais, o uso de softwares especializados em gestão de projetos e sistemas de gestão de dados são essenciais para as empresas implementarem a melhoria contínua de forma eficiente. É importante referir que a implementação dessas ferramentas deve ser ainda complementada com o cultivo de uma cultura com elas alinhadas, isto é, todos os membros da equipa devem estar preparados e ter as informações e competências necessárias para uma resolução rápida e eficaz de problemas em obra.

Assim sendo, duas ferramentas recorrentes na aplicação de melhoria contínua em Engenharia Civil são o Ciclo *Plan-Do-Check-Act*, PDCA, e a utilização de ferramentas de *Building Information Modeling*, BIM.

O Ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de *Deming*, é uma ferramenta amplamente utilizada para a implementação da melhoria contínua. Esta implica a execução das diferentes etapas de forma sequencial, com o objetivo de identificar ocasiões de melhoria e, deste modo, implementar ações preventivas, a fim de minimizar os custos elevados decorrentes de uma falha em obra. Esta é fundamental para garantir a excelência dos projetos e maximizar a eficiência e eficácia do processo de construção, [3].

A ferramenta BIM, *Building Information Modeling*, consiste num instrumento que permite a criação de modelos virtuais 3D de edifícios ou infraestruturas, integrando informações relativa aos elementos que as constituem, proporcionando uma visualização e análise de todo o projeto na íntegra, facilitando a identificação de possíveis conflitos e falhas. Adicionalmente, o BIM permite a análise de dados, simulando diferentes cenários, e assim, sustentar uma decisão mais informada, valorizando a qualidade do projeto.[6]

Sumariamente, a implementação da melhoria contínua no âmbito da gestão da qualidade é fundamental na garantia da eficiência e qualidade das construções assim como a satisfação do cliente nos projetos de Engenharia Civil. Tal é atingido seguindo etapas, definindo metas claras e alcançáveis, envolvendo todos os intervenientes e colaboradores e, por fim, utilizando ferramentas adequadas.

2.1.2.GESTÃO DE RISCO

O risco contempla as consequências da incerteza associada a qualquer processo construtivo. Esta incerteza pode ter consequências positivas ou negativas ou, até mesmo, ambas. Quando se aborda o risco é essencial referenciar a norma ISO 31000:2018, que tem como finalidade a Gestão de Risco e refere potenciais técnicas de avaliação do mesmo. Esta descreve os princípios de gestão de risco e as bases sobre a qual se assenta, assim como os mecanismos que uma empresa pode adotar permitindo essa gestão. Especifica um processo que permite que o risco seja identificado, compreendido e adotadas as alterações necessárias, de acordo com critérios que são estabelecidos como parte do processo.

As técnicas de avaliação do risco podem ser aplicadas dentro desta abordagem estruturada que envolve o estabelecimento do contexto, a avaliação do risco e o tratamento do risco, juntamente com a monitorização, revisão, comunicação e consulta contínuas, registo e apresentação de relatórios. É então aplicada a melhoria contínua no âmbito da gestão da qualidade. Este processo é ilustrado na Figura 2.1.

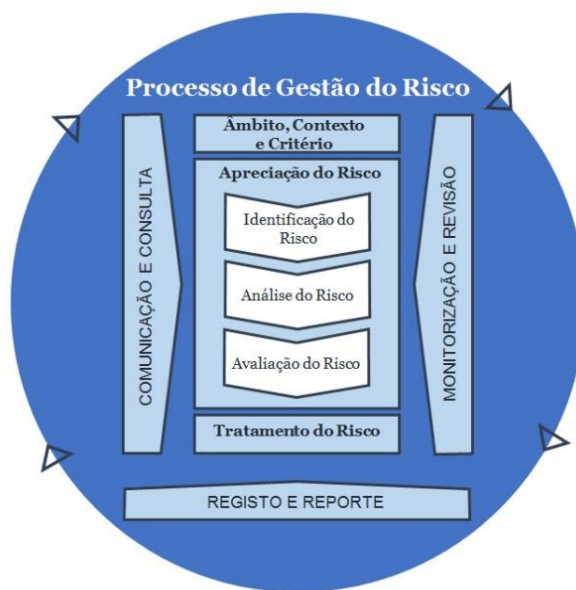


Figura 2.1 - Processo de gestão de risco, ISO 31000:2018, [7].

Na norma ISO 31000:2018, a avaliação de risco envolve a determinação dos mesmos, análise e a utilização do conhecimento adquirido para determinar o risco, tirando ilações sobre o seu significado comparado com a sua finalidade e rendimento da empresa. Desta forma é possível definir prioridades de ação. Na prática, é aplicada uma abordagem iterativa [7].

2.1.2.1. Análise De Risco

Como parte integrante da gestão de risco, a análise de risco contempla a fase mais complexa do todo. Com a revisão da norma ISO 9001 em 2015, [3], houve uma mudança significativa na forma como a melhoria contínua é abordada. A nova versão enfatiza a importância de adotar uma abordagem baseada no risco para a gestão da qualidade.

Como resultado, o papel da análise de risco é enfatizado na melhoria contínua em Engenharia Civil, uma vez que ajuda a identificar as áreas mais críticas, com maior necessidade de atenção e priorização da ação preventiva.

A análise de risco é o processo de identificação, avaliação e priorização dos riscos associados a um projeto. O processo envolve a identificação de potenciais riscos, a análise da sua probabilidade e consequências, e o desenvolvimento de estratégias para os mitigar. Como previamente referido, na Engenharia Civil, a análise de risco é essencial para garantir a segurança e eficiência e eficácia dos projetos, [1].

A análise de risco é uma componente crítica da melhoria contínua. Ao identificar potenciais riscos e desenvolver estratégias de mitigação, esta permite aos profissionais melhorar continuamente a segurança e a fiabilidade dos seus projetos. A melhoria contínua é um processo ininterrupto de identificação e apreciação de áreas de fraqueza ou ineficiência de um projeto, possibilitando a redução dos custos associados ao projeto. Finalmente, a análise de risco pode melhorar a segurança e fiabilidade global de um projeto, assegurando que este cumpre as normas e regulamentos necessários.

Por outro lado, a análise de risco pode, também, apresentar grandes desafios. A complexidade dos projetos pode dificultar a identificação e avaliação dos potenciais riscos. Pode, também, apresentar-se como um processo demorado e dispendioso, exigindo recursos e conhecimentos significativos. [8]

A quantificação empírica do risco constitui, muitas vezes, um desafio para os profissionais, dado que o risco tem na sua incerteza uma vasta lista de fatores, como falha humana, alterações climáticas, fatores sociais, económicos, entre outros. Desta forma, a norma ISO/IEC 31010, [9], apresenta diretrizes para a seleção e aplicação de várias técnicas de apreciação da incerteza e auxiliando na compreensão risco, entre eles:

- Hazard Analysis and Critical Control Point, HACCP
- Failure Modes and Effects Analysis, FMEA
- Hazard And Operability Analysis, HAZOP
- Análise de Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis), FTA
- Diagrama de Causa-Efeito
- Event Tree Analysis, ETA

2.2.METODOLOGIAS PARA A ANÁLISE DE RISCO

2.2.1.HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS, HAZOP

Hazard and Operability Analysis, HAZOP, [10], é uma metodologia sistemática que tem sido amplamente utilizada em várias indústrias, incluindo a Engenharia Civil, para identificar e avaliar possíveis riscos em sistemas complexos. É baseado na teoria de que os eventos de risco são causados por desvios do que foi planeado. A HAZOP é uma técnica proativa que procura identificar potenciais problemas antes que eles ocorram, através de uma análise detalhada e estruturada do sistema.

No HAZOP, a identificação de tais desvios é facilitada pela utilização de conjuntos de "palavras-chave", conceito que pode ser utilizado para estimular debate dos potenciais riscos, dentro de outras mecânicas de avaliação de risco.

Como instrumento de avaliação de risco, o HAZOP é frequentemente descrito como:

- Uma técnica de reflexão;
- Um instrumento de avaliação qualitativa do risco;
- Um instrumento de avaliação de risco indutivo, o que significa que é uma abordagem de identificação de risco "bottom-up", em que o sucesso depende da capacidade dos peritos na matéria para prever desvios com base em experiências passadas e conhecimentos gerais sobre os temas discutidos.

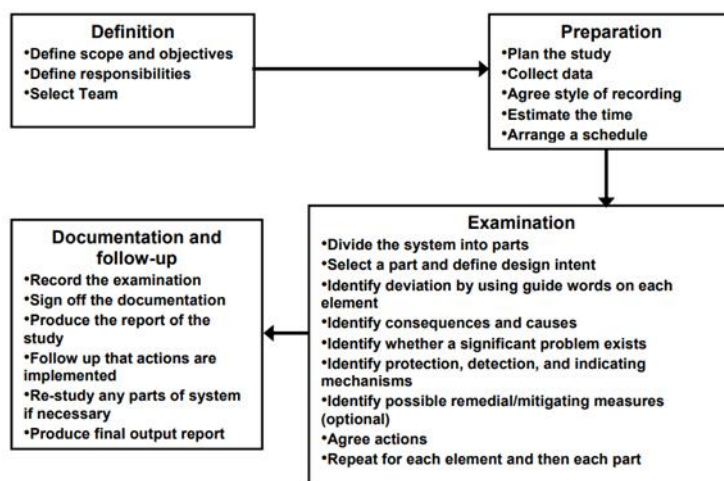


Figura 2.2 - Fases da metodologia HAZOP, [10].

A Fase de *Definição* inicia-se com a identificação preliminar dos membros da equipa de avaliação de risco. O HAZOP propõe uma equipa multifuncional, que incorpora especialistas de várias áreas uma vez beneficiar de um amplo e atual conhecimento do sistema e das suas possíveis falhas.

A Fase de *Preparação*, inclui, por norma, as seguintes atividades:

- Identificação e recolha de dados e informações de apoio;
- Identificação do público-alvo e dos utilizadores dos resultados do estudo;
- Preparação da gestão do projeto;
- Aprovação do formato de modelo para registo dos resultados;
- Aprovação das *palavras-chave* HAZOP a utilizar durante o estudo;

As *palavras-chave* são elementos de apoio na execução de uma análise HAZOP. De acordo com a Norma IEC 61882, [11], algumas palavras-chave utilizadas no processo são apresentadas na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Palavras-chave utilizadas no HAZOP e desvios considerados, [4].

Palavras-chave	Desvio Considerados
Não, Nenhum	Negação do propósito do projeto
Menos	Decréscimo Quantitativo
Mais, Maior	Acréscimo Quantitativo
També, Bem Como	Acréscimo Qualitativo
Parte De	Decréscimo Qualitativo
Reverso	Oposição Lógica do Propósito do Projeto
Outroque, senão	Substituição Completa

Uma vez definidas as palavras-chave do HAZOP, a fase de *Examinação* pode ser iniciada. Esta tem início com a identificação de todos os elementos (partes ou etapas) do sistema a ser examinado. Por exemplo:

- Decomposição dos sistemas em partes mais pequenas, consoante o necessário;
- Possibilidade de decomposição dos processos em etapas;
- Certas partes podem ser agrupadas para facilitar a avaliação.

Após a fase de *Examinação*, como é usual, é realizado um relatório expondo o processo e as conclusões obtidas do mesmo.

Na aplicação da HAZOP em engenharia civil, o objetivo é identificar e avaliar os riscos operacionais associados ao projeto e operação de instalações. A principal vantagem da HAZOP é que ela é uma metodologia sistemática e estruturada que permite a identificação de possíveis questões de forma proativa, antes que eles ocorram. Além disso, a HAZOP é uma técnica flexível que pode ser adaptada às necessidades específicas de um projeto ou instalação. No entanto, a metodologia também tem algumas desvantagens, incluindo a necessidade de um alto nível de experiência e conhecimento técnico para correta aplicação, bem como o tempo e recursos despendidos na realização de uma análise detalhada e abrangente, [9].

2.2.2. ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS, FTA

Uma Análise de Árvore de Falhas, FTA, é uma abordagem sistemática à resolução de problemas, baseada na identificação da causa principal de uma falha, recorrendo a um diagrama. A FTA pode ser utilizada para explorar uma única falha ou examinar sistematicamente um grupo de componentes, o que a torna uma ferramenta versátil para uma análise das causas. Este método tem como propósito descobrir a causa primordial da falha a ser estudada, compreender o funcionamento do sistema, determinar os seus riscos e, com base nessas informações, desenvolver medidas de prevenção ou mitigação dos riscos identificados.

A construção do diagrama tem como ponto de partida a própria falha e, a partir desse evento inicial, o diagrama deve crescer seguindo uma sequência lógica - até determinar a causa raiz. O processo cessa quando uma análise posterior se torne ineficaz. Este tipo de análise utiliza a *Lógica Booleana*, em que emprega comportas lógicas para representar cada evento que possa ter causado ou contribuído para o problema, incluindo eventos externos e condicionantes. Os símbolos de comportas lógicas, como “e”, “ou”, estabelecem a relação entre eventos de entrada e saída, permitindo assim, definir um sistema de forma lógica e de interpretação acessível. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de uma Árvore de Falhas. Paralelamente é possível recorrer a softwares que baseados nos conhecimentos de Álgebra, convertem o FTA num método quantitativo, baseado em probabilidades. Esta é uma característica que converteu o FTA numa ferramenta comum na análise de risco probabilística, [12].

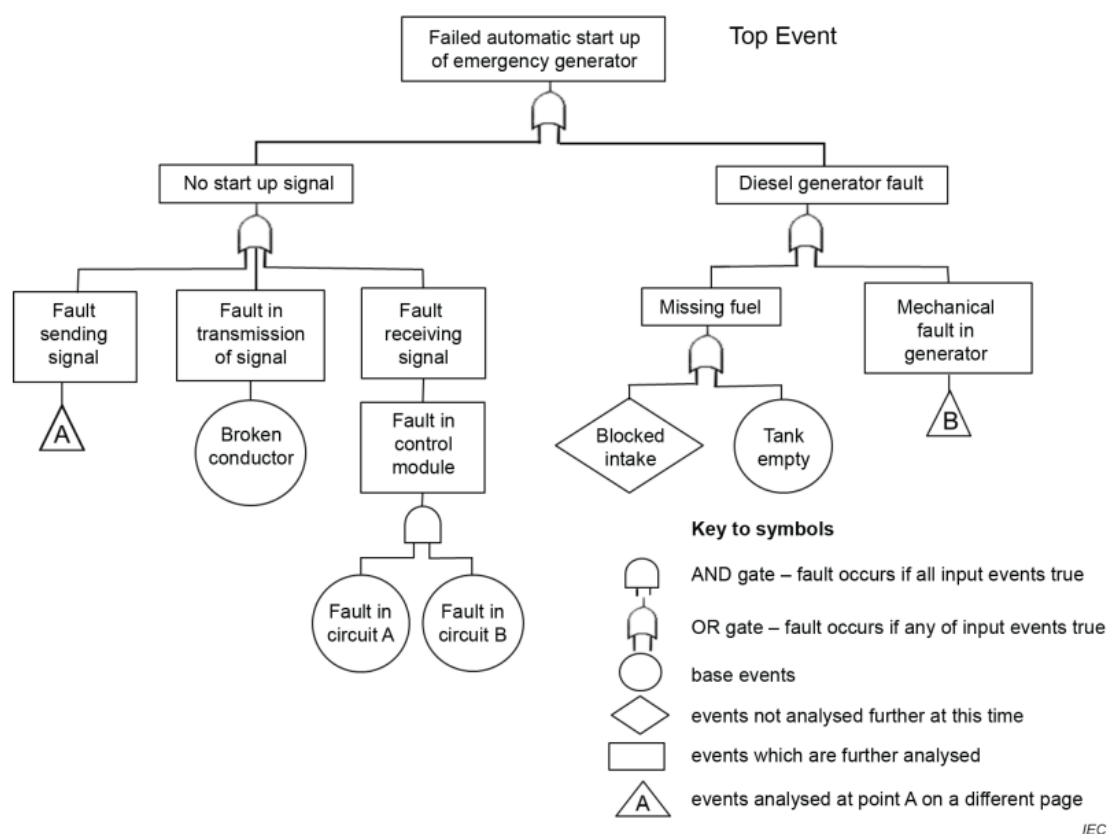


Figura 2.3 - Exemplo da construção de Árvore de Falhas, [9].

Entre as vantagens da utilização da metodologia FTA na análise de riscos em engenharia civil, destacam-se a sua aplicabilidade em sistemas complexos e a possibilidade de identificar as causas básicas das falhas, permitindo a elaboração de soluções mais efetivas. No entanto, a metodologia também apresenta algumas desvantagens, como a necessidade de informações precisas sobre o sistema em questão, a dificuldade em considerar todos os possíveis eventos e combinações de eventos que podem levar a uma falha, considera apenas estados binários (sucesso/falha) e, em função da dimensão do sistema, traduz-se numa árvore de elevada complexidade e extensão, anulando a simplicidade gráfica inerente, [9].

2.2.3. DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO

O “Diagrama de Causa Efeito”, também conhecido por Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe, tem como objetivo, auxiliar a identificar, a partir de uma visão simplificada e concentrada, com recurso às relações de casualidade, as origens de um certo acontecimento.

Um Diagrama Causa-Efeito é uma ferramenta visual utilizada para organizar logicamente possíveis causas para um problema ou efeito específico, expondo-as graficamente com mais detalhe de forma progressiva, sugerindo relações informais entre teorias. Ao diagnosticar a causa de um problema, este auxilia na organização de várias teorias subjacentes às causas base e apresenta-as graficamente.

A análise de Ishikawa utiliza uma abordagem de equipa para identificar possíveis causas de qualquer evento, efeito, questão ou situação desejável ou indesejável. Os possíveis causas são organizadas em amplas categorias a fim de abranger causas humanas, técnicas e de organização.

O Diagrama Causa-Efeito é uma ferramenta fundamental utilizada nas fases iniciais de um projeto pela equipa e em que as ideias geradas durante uma discussão são utilizadas para conceber o diagrama. Uma vez que a lista de questões pode ser muito extensa, a equipa deve utilizar uma técnica de priorização ou votação múltipla, por exemplo, de forma a filtrar a lista de causas potenciais que se desejam investigar mais aprofundadamente.

As principais etapas na análise são:

- Estabelecer o efeito a ser analisado e colocá-lo numa caixa como cabeça do Diagrama de Causa-Efeito. O efeito pode ser tanto positivo (um objetivo) como negativo (um problema);
- Acordar sobre as principais causas.
- Perguntar "porquê?" e "como pode isso ocorrer?" iterativamente para explorar as causas e fatores de influência em cada categoria, acrescentando cada uma das ramificações do Diagrama de Causa-Efeito.
- Rever todos os ramos para verificar a consistência e plenitude e garantir que as causas se aplicam ao efeito principal.
- Identificar os principais fatores com base na opinião da equipa e nas informações disponíveis.

NOTA: Qualquer conjunto de classes aprovadas pode ser utilizado em função das circunstâncias em análise.

A Figura 2.4 exemplifica a apresentação de um Diagrama de Causa-Efeito.

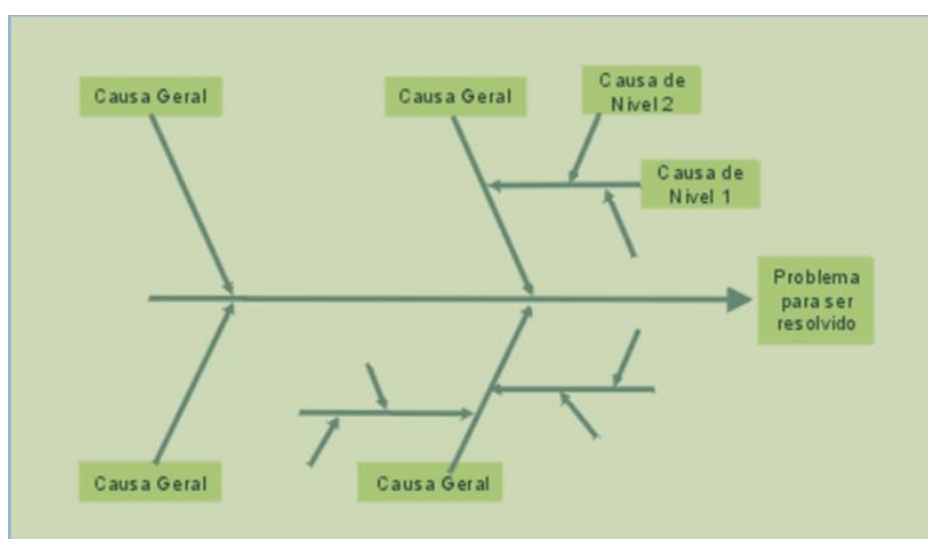


Figura 2.4 - Exemplo de Diagrama de Causa-Efeito, [13].

A vantagem da utilização desta metodologia salienta-se a comunicação de problemas num ambiente neutro proporcionada, assim como a possibilidade de aplicação da mesma na identificação de fatores contributivos tanto para objetivos como para problemas. Por outro lado, a metodologia também exhibe algumas limitações, tais como negligenciar possíveis causas quando estas não se incluem nas categorias definidas, assim como a definição das categorias no início da análise traduz-se numa possível inadequação das interações entre categorias, [9].

2.3.SOFTWARES DE ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados é essencial na melhoria contínua, assim como para o sucesso de um projeto de Engenharia Civil, uma vez que permite a extração de informações pertinentes que auxiliam o agente de decisão na resolução de um problema. No entanto, uma análise eficiente torna-se um processo complexo derivado da extensão e complexidade inerente a um projeto sendo, desta forma fundamental a utilização de ferramentas especializadas em análise de dados e gestão de projetos.

Quando se menciona análise de dados, uma das ferramentas mais utilizadas neste processo é o *Microsoft Excel*, que oferece uma interface amigável e diversas funções matemáticas, estatísticas e de visualização de dados. O *Excel* é especialmente útil para a análise de dados numéricos e criação de tabelas e gráficos, possibilitando a simplificação da visualização e interpretação de dados de forma clara e objetiva.

Outro software de amplamente utilizado é O *MS Project*, um software de gestão de projetos desenvolvido pela Microsoft que se tornou uma ferramenta de planeamento frequentemente utilizada resultado da possibilidade de definição de tarefas, alocação recursos, estabelecimento de prazos e monitorização do progresso em tempo real, que oferece ao utilizador. Complementa-se ainda com ferramentas de análise, visualização e comunicação que permitem aos profissionais a toma de decisões informadas e identificação de potenciais falhas no projeto.

É ainda de referir o *Autodesk Build*, uma plataforma de gestão de construção em nuvem que permite o acompanhamento de todas as fases do projeto, desde o planeamento até à execução e, por fim, entrega. Com o *Autodesk Build*, é possível reunir todas as informações sobre o projeto num só lugar e monitorizar o seu progresso em tempo real.

2.3.1.MICROSOFT EXCEL – ETAPA DE ANÁLISE DE DADOS

O *Microsoft Excel* é uma ferramenta muito utilizada na análise de dados, oferecendo diversas funcionalidades matemáticas, estatísticas e de visualização. A capacidade de processamento de grandes volumes de dados é uma das suas maiores vantagens, permitindo a importação dos mesmos de diversas fontes e a sua organização em tabelas e gráficos. Complementarmente, o *Excel* oferece diversas funcionalidades estatísticas, conforme referido, como análise de regressão, testes de hipóteses, análise de variância, entre outras. Essas funcionalidades permitem a realização de análises mais avançadas e precisas, fornecendo perspetivas importantes para o projeto.

No planeamento e controle de projetos, o *Excel* é uma ferramenta importante para a elaboração de cronogramas, orçamentos e controle de recursos e custo. Permite a melhoria contínua, avaliando o progresso do projeto em tempo real e identifiquem desvios em relação ao planeado. Com o *Excel*, é possível criar grelhas de acompanhamento de indicadores de desempenho, que facilitam a análise do progresso do projeto e a identificação de oportunidades de melhoria.

2.3.2.MICROSOFT PROJECT – ETAPA DE PLANEAMENTO

O *Microsoft Project* é um software de gestão de projetos desenvolvido pela *Microsoft* que se tornou uma ferramenta de uso corrente na construção dado permitir a definição de tarefas, alocação de recursos, determinação de prazos e monitorização do progresso em tempo real. Este inclui uma vasta panóplia de

ferramentas de análise, visualização e comunicação que permitem a tomada de decisão informada e identificação de potenciais falhas no projeto.

Na etapa de planejamento, o *MS Project* permite a criação de um cronograma detalhado do projeto, que inclui as tarefas e recursos necessários, assim como, os prazos para conclusão. Essa informação é então usada para identificar possíveis obstáculos e atrasos, recorrendo a funções específicas que auxiliam a recolha e interpretação de resultados, facilitando a escolha de medidas preventivas e antevendo problemas críticos.

Além disso, admite uma avaliação do impacto de possíveis alterações num projeto, através da monitorização do progresso, identificando oportunidades de melhoria. Exemplificando, se uma tarefa for adiada ou se um recurso se tornar indisponível, o software viabiliza a avaliação do impacto dessas alterações no cronograma geral do projeto, proporcionando atuar de forma informada nessas mudanças minimizando o impacto no projeto, impedindo a atrasos globais da obra.

2.3.3.AUTODESK BUILD

Na presente dissertação, apesar de só se ter recorrido ao *MS Project* e ao *Excel*, foi realizada uma pesquisa com o intuito de averiguar que software seria mais indicado para a aplicação do método estudado no dia a dia de uma empresa, tendo em conta todo o processo realizado numa empreitada e não só à fase de planejamento. Dessa pesquisa conclui-se, que o *Autodesk Build* é um software com grande interesse de estudo, graças a todas as suas funcionalidades, sendo também capaz de substituir o *MS Project* na aplicação da abordagem à FMEA, realizada neste trabalho.

O *Autodesk Build* oferece uma ampla gama de ferramentas e funcionalidades que ajudam as equipas de construção a simplificar os seus processos e fluxos de trabalho. Algumas das principais características do *Autodesk Build* incluem, [14]:

- Gestão de documentos: O *Autodesk Build* permite que as equipas façam a gestão de todos os documentos relacionados ao projeto num único lugar, garantindo que todos trabalhem com a versão mais recente dos documentos do projeto.
- Gestão de projetos: O software fornece ferramentas para agendamento, orçamentação e acompanhamento do progresso do projeto, ajudando as equipas a manterem os projetos dentro do prazo e do orçamento.
- Gestão de qualidade: Inclui ferramentas de controlo de qualidade que permite às equipas rastrear problemas, monitorar o progresso e manter altos padrões de qualidade.
- Gestão de campo: O software permite que as equipas de construção giram e fiscalizem as atividades de campo, incluindo inspeções, submissões e pedido de informação, *RFI's*, a partir de um dispositivo móvel.
- Análises e relatórios: Fornece funcionalidades de análise e relatórios de dados em tempo real, permitindo que as equipas tomem decisões informadas com baseadas nas informações mais atualizadas do projeto.

Adicionalmente, a versatilidade do software, em várias áreas no domínio de uma construção, melhora a qualidade do produto final. A Figura 2.5 ilustra as áreas de aplicação do *Autodesk Build*.

Comprehensive site and project management software empowering all builders.

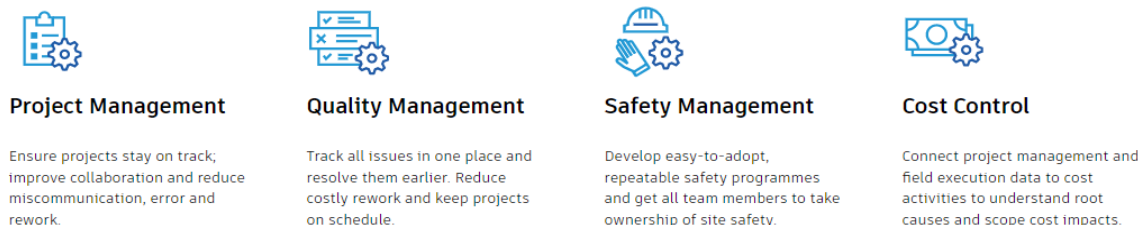


Figura 2.5 - Áreas de aplicação do Autodesk Build, [14].

A estas possibilidades acresce-se a promoção de uma maior visibilidade e transparência entre todas as equipas todas, com o objetivo de oferecer uma melhor gestão, favorecendo a mitigação de erros e atrasos. A plataforma pretende a conceção de um ecossistema da obra, no qual é possível gerir de forma mais eficaz e eficiente.

É ainda de realçar as ferramentas de relatórios e análises em tempo real que permitem que as equipas tomem decisões informadas com base em informações atualizadas do projeto.

2.4.GARCIA, GARCIA DESIGN AND BUILD

2.4.1.A EMPRESA

A Garcia, Garcia S.A. é uma empresa familiar, fundada em 1890, por Bernardino Garcia e orientada inicialmente para a conceção e construção de edifícios industriais, especializando-se na execução de chaminés e caldeiras de tijolo na Indústria Têxtil.

Atualmente, na 4ª geração, a Garcia, Garcia S.A. tem como missão a nível de mercado, caracterizar-se por uma empresa de sucesso no sector da construção, competitiva e economicamente rentável, garantindo a qualidade, segurança e respeito pelo meio ambiente, onde as pessoas ambicionem viver, trabalhar e interagir. Procura implementar novos processos e técnicas de fabrico, através da aplicação de novos materiais, estilos e tendências. Esta preza-se pelos seus princípios, valores fundamentais de justiça, rigor e credibilidade adquiridos ao longo dos anos.

A sua sede administrativa está localizada em Santo Tirso, possuindo ainda um estaleiro em Guimarães, com uma área implantação de 30.000 m², integrando a oficina de manutenção de equipamentos, estaleiro central e o armazém central de apoio à produção, [2].

2.4.2.MELHORIA CONTÍNUA NA GARCIA, GARCIA, S.A.

A Garcia, Garcia S.A. oferece soluções globais nas áreas de negócio de *Project Management*, *Construction Management*, *Project Financing*, Consultoria Técnica de Edifícios, Arquitetura e Reabilitação, Planificação de Espaços Empresariais, Serviços de Engenharia. Através da sua capacidade de gestão e operação de todos estes serviços, possui uma equipa multidisciplinar e com competências diversificadas.

Assim sendo, o foco da empresa, resulta na especialização em fornecimento de soluções do tipo “Chave-na-Mão”, já que a empresa integra os diferentes aspetos que um projeto de construção abrange. Assim, são asseguradas todas as fases do projeto por parte da empresa, garantindo um resultado ajustado às necessidades do cliente e assegurando o trinómio qualidade / custo / prazo.

Como mencionado, a política de qualidade é uma das valências da empresa e tem como principal fundamento a melhoria contínua da eficiência da organização. Assim sendo, a empresa integra um departamento dedicado à melhoria contínua sendo, desde 2009, certificada pela norma NP EN ISO 9001:2008 responsável pela Gestão da Qualidade. Em 2020 a empresa é certificada pela NP EN ISO 9001:2015, pela NP EN ISO 14001:2015, relativa ao Sistema de Gestão Ambiental e pela ISO 45001:2018, relativa ao Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacionais.

Tendo por base estas normas, e sendo a Garcia, Garcia S.A. uma empresa integrante do Grupo Garcia, do qual fazem parte outras três empresas, Multiprojectus, vocacionada para projeto, Garsteel, habilitada para estruturas metálicas e, por fim, Gartek, com atividade na área de gestão de manutenção de edifícios, a administração das empresas designa um representante nos assuntos relevantes para a Qualidade, Ambiente e Segurança e Saúde no Trabalho.

Suportados pelos requisitos das normas anteriormente referidas, com foco na melhoria contínua da Organização e do Sistema de Gestão, a empresa aplica diversas metodologias ao longo de todos os processos, como o ciclo PDCA, em que as ações se definem como:

- “Planear” - estabelecer objetivos e processos necessários para apresentar os resultados de acordo com os requisitos do cliente e a política da empresa,
- “Executar” - implementação dos processos,
- “Verificar” - medição e monitorização dos processos e do produto e
- “Atuar” - implementação de ações com vista à melhoria do desempenho e da eficácia dos processos, estão inerentes a cada processo de gestão.

Para além do PDCA está também implementada a metodologia BIM enquanto modelo e ferramenta de trabalho. Agilizando a cooperação e a relação de trabalho entre os diferentes intervenientes durante a conceção e construção, com integração das diferentes especialidades e consequente otimização processual. O recurso ao BIM promove a eficácia e a eficiência, favorecendo a redução dos prazos de conceção e construção, a diminuição dos custos, bem como o aumento da qualidade do trabalho final, [2].

2.4.3.EXEMPLOS DE PROJETOS

Como referido, a Garcia, Garcia S.A. concebe e executa projetos de vários domínios. A título de exemplo, são apresentados dois:

- Construção Industrial: Unidade industrial da Casfil, 2014, área de 29.700m², localizada em Santo Tirso, prazo de execução de 11 meses.



Figura 2.6 - Unidade industrial da Casfil, [2].

- Construção Logística: Centro logístico LIDL, 2020, área de 48.000 m², localizada em Santo Tirso, prazo de execução de 14 meses.



Figura 2.7 - Centro logístico LIDL, [2].

3 MÉTODO FMEA E CASOS DE ESTUDO

3.1. ENQUADRAMENTO

A análise de risco inclui a identificação dos potenciais riscos, categorização e avaliação das consequências destes. Uma vez identificados, pode ser desenvolvido um plano de gestão de riscos para os mitigar. Para além da identificação e gestão, a análise de riscos também envolve a determinação da probabilidade de ocorrência, as consequências, e o impacto no projecto.

As empresas do setor da Construção Civil enfrentam desafios complexos e importantes, especialmente em relação à preocupação com a qualidade. Para se tornarem competitivas, as empresas devem desenvolver estratégias de produção que se debrucem sobre a Qualidade na Gestão dos Projetos com recurso à Gestão de Risco.

FMEA é uma sigla para Análise de Modos de Falha e Efeitos. O exército dos Estados Unidos desenvolveu a *FMEA* nos anos 50, pouco tempo depois, a indústria aeronáutica e a NASA adotaram-na, sendo que a NASA passou a utilizá-la para as missões Apollo, no programa Viking, e nas missões interestelares Voyager. A indústria automóvel adotou o *FMEA* como uma das suas principais ferramentas de qualidade, e outras indústrias, incluindo os cuidados de saúde, dispositivos médicos, óleo/gás e eletrónica de semicondutores, adotaram-na como uma ferramenta chave para eliminar ou minimizar falhas na fase de conceção de produtos e processos, [8].

Numa análise *FMEA*, "falha" é definida como uma perda de funcionalidade ou qualidade, enquanto "modo de falha" se refere à forma como a falha ocorreu. No contexto da análise de risco, é uma das ferramentas mais utilizada para identificar a causa base de problemas devido à sua versatilidade e regulamentação existente.

A *FMEA* avalia o impacto de cada falha e seus efeitos consecutivos. Esta técnica afere as possíveis formas de falhas em um produto ou processo, com o objetivo de eliminá-las ou mitigá-las. Isto é feito listando todas as possíveis formas de falhas em um produto ou processo e então reduzir o risco a um nível aceitável, alterando a severidade da falha, a ocorrência da falha ou a deteção da falha.

A metodologia apresentada é uma proposta para a análise sistemática de risco na indústria da construção. Embora existam diversas versões da mesma, esta é adaptável ao cenário em questão, não havendo um procedimento consensual para a sua aplicação.

Para a aplicação eficaz desta técnica, é importante constituir uma Equipa de Análise de Risco formada por três a cinco elementos. É fundamental que haja diversidade dentro da equipa, incluindo profissionais especializados e não especializados, para se obter pontos de vista diferenciados e discutir problemas de forma mais completa, [15].

3.2.FMEA

A análise recorrendo à FMEA deve abranger a determinação do âmbito, dos requisitos funcionais, dos parâmetros do projeto e das etapas do processo. Deve ser realizada uma identificação das potenciais falhas que possam levar à perda de, pelo menos, um requisito funcional, determinação dos efeitos das mesmas, análise e definição das causas das falhas, averiguação e identificação dos mecanismos de controlo para mitigar a probabilidade de ocorrência, e priorização das ações corretivas.

Em primeiro lugar, é necessário ser definida uma equipa de risco, que deve ser constituída de 3 a 5 elementos, como referido em [15].

A metodologia é executada por norma através do preenchimento de uma tabela, que deve ser preenchida de forma rigorosa pela equipa de análise de risco.

DESCRIPTION (Project / Work / Process)			DEPARTMENT (Team / Members)		ASSOCIATED DOCUMENTS (Drawings / Specifications / ...)			Pg x/y Date ____/____/____ Approved by	
1 Functions/ Objectives	2 Failure Modes	3 Effects	4 Causes	5 Control	6 Severity	7 Occurrence	8 Detection	9 Recommendations	10 Status

Figura 3.1 - Exemplificação da tabela a preencher pela equipa, [15].

Os membros da equipa devem analisar todos os parâmetros apresentados, começando por responder às perguntas chaves relacionadas com as seguintes áreas, [16]:

a) Funções e Objetivos,

Determinação do âmbito, requisitos funcionais, parâmetros do projeto e etapas do processo.

- Quais as características que o produto/serviço deve apresentar/realizar para satisfazer os objetivos do cliente?

b) Modos de Falha,

Identificação das potenciais falhas que indiquem a perda de, pelo menos, um requisito funcional dos anteriormente determinados.

- De que forma as características do produto/serviço podem ser incapazes de realizar as funções para que foram concebidas?

c) Efeitos,

Determinação dos potenciais efeitos que poderão decorrer de cada falha sobre outras entidades ou processos.

- Que consequências para o cliente podem ter os Modos de Falha identificados?

d) Causas,

Análise e definição de todos os motivos que possam levar à Ocorrência dos Modos de Falha.

- Que razões podem existir para que se manifeste cada Modo de Falha?

e) Mecanismos de Controlo

Averiguação e identificação de todos os mecanismos de controlo a pôr em prática para eliminar ou mitigar a probabilidade de Ocorrência das potenciais falhas.

- Que tipo de monitorização já se encontra/pode ser implementada para alertar ou detetar as causas ou os Modos de Falha?

f) Prioridades.

Priorização das ações corretivas com base num conjunto de critérios consistentes.

g) Recomendações

Identificação e gestão das ações corretivas necessárias à eliminação ou mitigação do risco associado a cada Modo de Falha para controlo da situação.

- Que ações devem ser tomadas de forma a:

- Evitar o modo de falha?
- Reduzir a Severidade?
- Reduzir a Ocorrência?
- Aumentar a Detecção?

h) Estado

Análise da necessidade de aprofundar o estudo recorrendo, por exemplo, a outras técnicas de Análise de Risco e estabelecimento do ponto de situação para aplicação das recomendações.

No que consta à priorização, o método mais utilizado para a sua execução designa-se *RPN* - "*Risk Priority Number*", um elemento fundamental na estratégia de Análise de Risco.

A ferramenta utilizada teve por base o método exposto em [17], que, para a classificação dos modos de falha via *RPN*, requer a utilização de três índices:

1. Severidade
2. Ocorrência
3. Detecção

A estes índices é atribuída uma escala probabilística graduada entre 1 e 10. A maneira como cada índice é graduado pode variar, mas sempre dentro da mesma escala. A Tabela 3-1, a Tabela 3-2 e a Tabela 3-3 ilustram exemplos da classificação dos índices mencionados.

Tabela 3-1 - Exemplo de classificação do índice Severidade, [16].

Escala De Severidade	
1	O efeito não é detetável pelo cliente.
2	Efeito muito ligeiro, detetável pelo cliente; no entanto, não é suficiente para levar este a pedir assistência.
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.
5	Efeito limitado, o cliente exige assistência imediata.
6	Efeito moderado, cria insatisfação no cliente.
7	Efeitos moderados múltiplos, seria reclamação do cliente.
8	Efeitos significativos, com interrupções no funcionamento do sistema.
9	Efeito crítico, sistema completamente bloqueado, risco de segurança.
10	Efeito crítico com risco de vida.

Tabela 3-2 - Exemplo de classificação do índice Ocorrência, adaptado [16].

ESCALA DE OCORRÊNCIA		
1	Extremamente remota	<0,01%
2	Remota, muito pouco provável	0,011 – 0,20
3	Probabilidade muito reduzida	0,21 – 0,60
4	Probabilidade reduzida	0,61 – 2,00
5	Ocasional	2,001 – 5,00
6	Moderada	5,001 – 9,999
7	Frequente	10,0 – 14,999
8	Alta	15,0 – 19,999
9	Muito alta	20,0 – 25,0
10	Certa	>25,0%

Tabela 3-3 - Exemplo de classificação do índice Detecção, [16].

Escala De Detecção		
10	Impossível de detetar	Sem sistema de deteção implementação, sem noção de garantia da qualidade, apoiado apenas na intuição.
9	Remota	Totalmente recativa aos problemas. Sem sistema formal de inspeção.
8	Muito pouco provável	Inspeção pelo operador. Sem noção ou sistema formal de garantia da qualidade.
7	Pouco provável	Implementação parcial de metodologias da qualidade. Planos de inspeção por amostragem.
6	Baixa	Fases iniciais de Sistema 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 projetos formais, controlo de materiais.
2	Alta	Sistema de qualidade estabilizado e em utilização corrente. Atualização constante e formação obrigatória dos operadores.
1	Certa	Sistemas de inspeção totalmente automatizados.

Com os valores determinados pelos índices referidos, é calculado pela Eq. 3-1 o Número de Risco Prioritário, *RPN- Risk Priority Number*, quantificando assim o risco de cada modo de falha, descrito em [15] e [17].

$$RPN = S * O * D$$

Eq. 3-1

Com a quantificação de cada falha é possível realizar-se uma hierarquização da mesma dependendo do valor obtido para o RPN, criando assim uma concordância entre as medidas preventivas e as potenciais falhas.[4]

3.3.ABORDAGEM FMEA ADOTADA

A FMEA será provavelmente a metodologia mais adaptada à Indústria da Construção, contrariamente a muitas metodologias de Análise de Risco, que demonstram elevada dificuldade de aplicação na mesma. Esta é uma metodologia capaz de estar a par das conformidades geradas pela complexidade de um projeto, permitindo considerar as especificidades de cada obra, projeto ou tarefa, assim como ter em conta a experiência dos profissionais envolvidos, no decorrer da sua aplicação. Desta forma, a FMEA revela-se um processo capaz de gerar boas previsões, em virtude da exigência de identificação de todos os obstáculos, analisando as suas causas, efeitos e hierarquização dos mesmos, permitindo destacar quais os que tem maior importância nos planos de contingência, assim como a sua exigente monitorização, [15].

No entanto, a FMEA debruça-se em demasia sobre a perceção individual de cada interveniente, o que pode ter consequências negativas, como a inadequada classificação do modo de falha ou, até mesmo, a impossibilidade de a equipa atingir o consenso. Para enfrentar este desafio, é interessante criar um método sistemático para detetar e estabelecer prioridades na tomada de decisão.

Assim, no presente trabalho, será explorada a viabilidade de uma adaptação da FMEA, que visa desenvolver um procedimento de classificação com base em dados objetivos, afastando-se da experiência pessoal e das subjetividades inerentes à mesma. Adicionalmente, a adaptação utiliza novos grafismos para auxiliar a análise e priorização assim como alterações na formulação matemática do RPN.

Com essa finalidade, a metodologia será aplicada ao planeamento inicial de duas empreitadas já concluídas, Obra_1 e Obra_2, fornecidas pela empresa Garcia, Garcia S. A.. A validação da metodologia dependerá da opinião dos membros da Equipa de Análise de Risco, constituída em parte por colaboradores da empresa, sobre se as tarefas identificadas com maior risco estiveram no grupo das que, efetivamente, criaram mais dificuldades no cumprimento de prazo. Durante todo processo será sempre considerada a possibilidade de ajustes à metodologia, procurando a sua melhoria contínua.

3.3.1.ALTERAÇÕES NA METODOLOGIA ADOTADA:

As adaptações executadas à FMEA que serão utilizadas neste trabalho têm por base as propostas de [4], [16] e [15]. Foram tomadas medidas em diversas fases do processo, que serão expostas por ordem, durante a explicação da metodologia aplicada nos casos de estudo em conjunto com as novas abordagens adotadas.

As adaptações já utilizadas são a proposta de graduação para a Severidade utilizando o fator Tempo, a nova abordagem ao cálculo de RPN e a utilização da Matriz de Risco como grafismo auxiliar à interpretação de resultados.

As medidas contemplam ainda uma proposta nova para a classificação da Ocorrência, a utilização de uma tabela para exposição dos valores de RPN, que recorre a um código de cores baseado nas áreas da Matriz de Risco, e o fator de maior predominância que é a adoção de um modo de falha único para toda a análise.

3.3.2.METODOLOGIA DOS CASOS DE ESTUDO

Para a aplicação da metodologia foram definidos os seguintes de requisitos, [18]:

- Variáveis do sistema
- Modo de Falha
- Causas
- Efeitos
- Pensamento crítico

Neste caso, as *Variáveis* do sistema são as tarefas da obra; o *Modo de Falha* é o não cumprimento do prazo das tarefas; as *Causas* são as origens dos atrasos nas obras de construção civil, que são muitas vezes variadas e complexas. Fatores como mão-de-obra insuficiente, falta de materiais e más práticas de gestão podem todos contribuir para os atrasos. O *Efeito* da ocorrência do modo de falha é o não cumprimento do prazo do contrato. Os atrasos nos projetos de construção civil há muito que constituem um grande problema na indústria da construção. Por último, o *Pensamento Critico* sobre o que se pode fazer para impedir o incumprimento dos prazos das tarefas é essencial, sendo necessário tomar medidas com o intuito de mitigar este problema, atribuindo-se um dos papéis principais à análise de risco.

A utilização de um único modo de falha, sendo ele o incumprimento do prazo das tarefas, é baseada em diversos fatores. A natureza extensiva da FMEA, em conjunto com a dimensão e complexidade de uma obra, torna a execução deste processo para todos os modos de falha insustentável. No entanto, independentemente da obra onde se queira estudar, a necessidade de executar todos os trabalhos no prazo estabelecido, de onde advêm consequências do incumprimento, é algo comum a todas as empreitadas. Complementarmente, o Tempo é uma das maiores dificuldades levantadas aos Diretores de Obra, [15]. A esses dois fatores, aliados da proposta de graduação adotada para a *Severidade* baseada no fator Tempo tornam a utilização da FMEA, com os requisitos expostos anteriormente, um caminho lógico.

3.3.2.1.Parâmetro Severidade

A *Severidade* é uma medida essencial na avaliação de riscos e consequências de eventos negativos em um projeto. Esta permite avaliar a gravidade de um *Modo de Falha*, ou seja, o nível de impacto que o evento pode ter. É utilizada uma escala ordinal que varia de 1 (nenhum efeito) a 10 (efeito crítico).

Neste estudo, será adotada a proposta de classificação da severidade com base no fator "Tempo", [4].

A *Severidade* pode ser avaliada a partir de três perspetivas:

- A conexão entre as atividades do planeamento do projeto;
- A posição temporal da tarefa dentro do desenvolvimento temporal do projeto;
- O grau de efeitos diretos e indiretos.

A avaliação precisa da *Severidade* é essencial para estabelecer planos de ação adequados e eficazes para mitigar riscos, garantindo a qualidade e efetividade do projeto.

Como afirmado em [15]:

É importante enfatizar que esta proposta é inteiramente empírica, apoiada apenas por um conjunto de situações reais em que foi testada e forneceu resultados consistentes e sensatos, coincidindo com a perspectiva dos membros da equipe de AR e a experiência que trouxeram para a discussão.

Consequentemente, os seguintes parâmetros foram estudados:

- Número de Tarefas Subsequentes (*NTS*);
- Número de Tarefas Subsequentes no Caminho Crítico (*NTScc*);
- Número de Tarefas Condicionadas (*NTC*);
- Número de Dias Escoados (*NDE*);
- Índice de Severidade (*IS*), calculado a partir da Eq. 3-2.

$$IS = (NTS + NTS_{cc}^2 + 0.5 \times NTC) \times \frac{NDE}{\text{Prazo Global da Empreitada}} \quad \text{Eq. 3-2}$$

Na prática, o *NTS* consiste na contabilização do número de sucessores da tarefa acrescentando um, o *NTScc* contabiliza o número de tarefas vinculadas à tarefa estudada que pertencem ao caminho crítico, o *NTC* contabiliza todas as tarefas que não foram incluídas nos dois parâmetros anteriores e se inicia após o começo da tarefa analisada. Por fim, o *NDE* consiste no número de dias úteis decorridos, calculado através da diferença entre a data de início da tarefa e a data de término do projeto.

A fim de averiguar esses parâmetros, foram utilizados os planos de trabalho iniciais em *MS.Project*, fornecidos pela empresa Garcia, Garcia S.A., para trabalhos concluídos. A Figura 3.2 apresenta um exemplo do planeamento de uma empreitada no software *MS Project*. Para otimizar o cálculo do *IS*, foi desenvolvida uma tabela eficiente de gestão e cálculo de dados no *Microsoft Excel*. A Figura 3.3 ilustra um exemplo desta tabela.

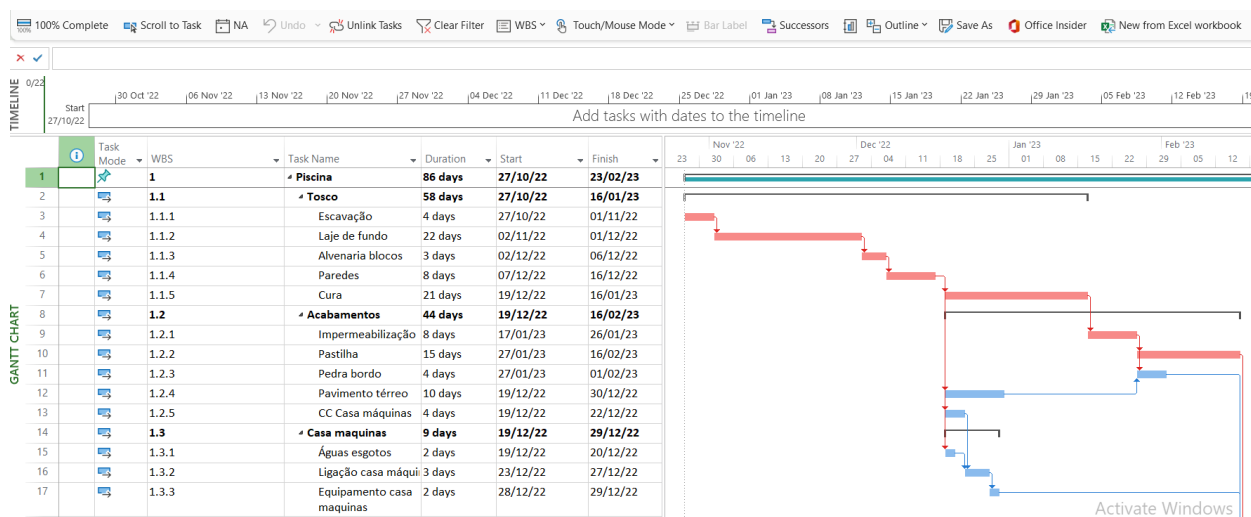


Figura 3.2 - Exemplo do planeamento em *MS Project*, [19].

		</												

Figura 3.3 - Exemplo da tabela eficiente de gestão e cálculo de dados no *Microsoft Excel*, [19].

Com a finalidade de executar um correto estudo da obra, é sugerida que a visualização dos planos de trabalho, PT, seja concebida na forma diagrama de *Gantt*, facilitando a visualização das interligações. É ainda recomendado o uso dos seguintes parâmetros, para auxiliar a interpretação:

1. Data de início;
2. Data de fim;
3. Tolerância de fim;
4. Antecessores;
5. Sucessores;
6. Desvio de conclusão.

Seguidamente, recorre-se à tabela de equivalências, Tabela 3-4, que estabelece a relação entre a Severidade (S) e o Índice de Severidade (IS).

Tabela 3-4 – Tabela de equivalências, relação entre a Severidade (S) e o Índice de Severidade (IS), [4].

IS Modo de Falha / I _{s,max}									
	≥ 0,9	≥ 0,8	≥ 0,7	≥ 0,6	≥ 0,5	≥ 0,4	≥ 0,3	≥ 0,2	≥ 0,1
S	10	9	8	7	6	5	4	3	2
									1

Este procedimento é aplicável à maioria das situações contempladas no plano de trabalho, com duas exceções. Estas exceções são limitadas e não afetam a validade do procedimento como um todo. É necessário ter em mente que essas situações específicas podem exigir uma abordagem diferenciada, e a sua identificação é essencial para garantir a eficácia da metodologia utilizada.

Tarefas Iniciais, ou seja, em que NDE é nulo ou muito pequeno- a aplicação da equação proposta ira 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 subseqüentes ou estas sejam em número muito reduzido - a aplicação da equação proposta ira igualmente atribuir em IS relativamente pequeno,

podendo tratar-se de casos (por exemplo testes de equipamento) com consequência graves para o fecho da empreitada.

Nestas situações específicas, em que a aplicação da equação proposta não é adequada, a equipa responsável pela análise de risco deverá atribuir a graduação de severidade de forma direta, tendo em consideração todos os aspetos envolvidos na tarefa em questão, É importante referir que esta decisão é baseada em critérios técnicos e em conhecimentos adquiridos através de experiências passadas, e será uma forma de garantir que a avaliação da severidade seja realizada de maneira adequada e eficiente, mesmo nas situações em que a aplicação da equação proposta é inviável, [4].

3.3.2.2.Parâmetro Ocorrência

A *Ocorrência* é utilizada para avaliar a probabilidade de o Modo de Falha ocorrer. Paralelamente ao parâmetro *Severidade*, o parâmetro *Ocorrência* é apresentado numa escala probabilística de 1 (extremamente remota) a 10 (certa). Das propostas de graduação apresentadas em [4] e [16] , conclui-se que este é um parâmetro de elevada dificuldade de quantificação, principalmente devido à sua dependência da experiência dos intervenientes para a sua classificação.

Para fazer face a esta questão, a presente dissertação propõe a criação de uma metodologia para graduar a *Ocorrência* através de um inquérito, com o objetivo de obter uma amostra menos subjetiva e mais facilmente comparável. Neste estudo, a FMEA é aplicada no cenário de incumprimento de prazos numa obra de construção civil. Para isso, foram pesquisados os fatores mais proeminentes nos atrasos de uma empreitada. Esta pesquisa foi baseada em conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia e complementada por estudos e trabalhos publicados na área, [20] e [21], tendo-se destacado as seguintes áreas:

- Meteorologia;
- Materiais de construção;
- Mão-de-obra, projetos;
- Licenciamentos.

Com base nestas fontes de informação, foi elaborado um inquérito a ser respondido para cada tarefa do plano de trabalho, com o objetivo de determinar a probabilidade de ocorrência de cada modo de falha. Assim sendo, desenvolveu-se ao seguinte inquérito:

Enunciado (fixo):

Para cada uma das condições apresentadas nas perguntas, atribua a descrição que melhor se adequa com base no conhecimento e experiência pessoal à respetiva tarefa a ser analisada no âmbito do incumprimento de prazo.

Nota: É necessário ter em conta para que altura do ano a obra está planeada e onde é localizada.

Pergunta 1: Qual é a influência da Época do ano?

A- Grande influência

B- Média influência

C- Baixa influência

Pergunta 2: Qual é a dependência de material?

A- Grande dependência

B- Dependência mediana

C- Baixa dependência

Pergunta 3: Qual é a facilidade de obtenção do material?

A- Difícil obtenção

B- Alguma dificuldade de obtenção

C- Fácil obtenção

Pergunta 4: Qual é o estado do provisionamento dos materiais necessários?

A- Por encomendar

B- Encomendado ou fornecedor já selecionado

C- Obtido, em *stock*

Pergunta 5: Qual é a dependência de mão de obra externa?

A- Elevada dependência e mão de obra desconhecida

B- Grande/média dependência e mão de obra conhecida

C- Baixa dependência e mão de obra conhecida

Pergunta 6: Qual é a dependência de mão de obra especializada?

A- Só pode ser usada mão de obra especializada

B- Deve ter mão de obra especializada

C- Só é necessária mão de obra corrente

Pergunta 7: Qual é quantidade de informação existente em projeto? (peças escritas, peças desenhadas)

A- Sem detalhes/ Grande falta de especificações

B- Alguma informação, mas incompleto

C- Existe a informação necessária para a correta execução

Pergunta 8: Qual é a dependência de Licenciamentos ou outros processos burocráticos?

- A- Tarefa dependente de licenciamento
- B- Tarefa dependente de licenciamento, mas contornável
- C- Independente de burocracia

De forma a atribuir um caráter mais quantitativo e menos qualitativo, a cada uma das respostas é conferida uma pontuação:

Pontuação:

- A- 9 pontos
- B- 6 pontos
- C- 3 pontos

O questionário engloba 8 questões que abordam os problemas raiz mais frequentes nos atrasos de uma empreitada, com o intuito auxiliar na idealização mais expedita sobre quais é que poderão ser as causas dos atrasos, que, por consequência, irá facilitar a elaboração de medidas, quer preventivas, quer corretivas.

Uma vez que o PT tem múltiplas tarefas, criar questionários individuais para cada tarefa seria moroso e fatigante. Para abordar este problema, foi desenvolvida uma solução automatizada para a produção de questionários. Esta solução utiliza o *Google Sheets* e o *Google Forms*, que com a ajuda da linguagem de programação *Python*, permite a passagem automática da lista de tarefas, Figura 3.4, do *Sheets* para o *Forms*, Figura 3.5, gerando o questionário na sua totalidade. Com o *Google Forms* capaz de traduzir automaticamente as respostas em *Sheets*, é possível exportar os resultados diretamente para o *Excel* ou realizar a análise de dados dentro do *Google Sheets*, que é um substituto do software *Microsoft Excel*.

Movimento de Terras	Created	Fundações	Created	Betão Simples e Armado	Created	ESTRUTUTURA PRÉ-FABRICADA EM BETÃO	Created
Escavação sapatas e vigas de fundação	☒	Sapatas	☒	Pilares, paredes, escadas e lajes	☒	Pilares, vigas, painéis, lâminas -FASE 01	☒
		Vigas e linteis de fundação	☒	Maciços para equipamentos	☒	Lajes alveolares - 1ª Entrega	☒
			☒			1ª Betonagem	☒
			☒			Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 02	☒
						Lajes alveolares - 2ª Entrega	☒
						2ª Betonagem	☒
						Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 03	☒
						Lajes alveolares - 3ª Entrega	☒
						3ª Betonagem	☒

Figura 3.4 - Exemplo da Listagem de Tarefas.

Movimento de Terras - Escavação sapatas e vigas de fundação

Pergunta 1: Qual é a influência da Época do ano? *

☐ A- Grande influência

☐ B- Media influência

☐ C- Baixa influência

Pergunta 2: Qual é a dependência de material? *

☐ A- Grande dependência

☐ B- Dependência mediana

☐ C- Baixa dependência

Pergunta 3: Qual é a facilidade de obtenção do material? *

☐ A- Difícil obtenção

☐ B- Alguma dificuldade de obtenção

☐ C- Fácil obtenção

Figura 3.5 - Inquérito Google Forms.

Embora o processo de gerar automaticamente os questionários tenha decorrido sem problemas, transpor os resultados revelou-se desafiador. O documento gerado automaticamente no formato Sheets não era utilizável, sendo necessária a transcrição manual dos questionários em tabelas, como mostrado na Figura 3.6, para a recolha de dados. Estas tabelas representam as respostas de um interveniente para uma única tarefa e calculam a média das respostas, que é atribuída como o valor de *Ocorrência* da tarefa.

Betonilhas	
B	6
B	6
C	3
C	3
C	3
B	6
B	6
C	3
	4,5

Figura 3.6 - Exemplo da tabela de cálculo do valor da *Ocorrência* correspondente ao questionário.

Em seguida, os valores de *Ocorrência* para cada tarefa e para cada interveniente são agregados na tabela representada pela Figura 3.7, onde os valores médios de *Ocorrência* são calculados automaticamente. Estes valores serão denominados por *Ocorrência final* O_f , que representam os resultados de *Ocorrência*, que são utilizados na aplicação da metodologia proposta.

Nº	Interveniente 1	Interveniente 2	Interveniente 3	O_f
1	4.875	7.875	5.25	6
2	5.625	7.125	5.25	6
3	5.625	7.125	5.25	6
4	6	7.125	5.625	6.25
5	5.625	6.375	4.125	5.375

Figura 3.7 - Exemplo da tabela de cálculo de O_f.

O cálculo de valores de ocorrência de erros é uma prática comum no controlo de qualidade e melhoria de processos. No contexto deste estudo, os valores de ocorrência foram utilizados para quantificar a frequência dos erros cometidos, sem necessitar da interpretação pessoal da escala usada. Esta abordagem permitiu uma avaliação mais objetiva dos dados, diminuindo a avaliação pessoal, mitigando a variância dos resultados.

Além disso, ter um inquérito baseado na origem dos erros mais recorrentes para cada tarefa é uma excelente base para a criação de planos de ações corretivas e de mitigação do erro, pois garante uma avaliação mínima sobre vários temas, que são, por norma, relevantes. Através da identificação das causas dos erros, é possível desenvolver soluções direcionadas que abordem as questões subjacentes. Esta abordagem pode conduzir a processos mais eficazes e eficientes, bem como à melhoria do desempenho e à redução dos erros a longo prazo.

Em suma, a utilização de valores de ocorrência e de um inquérito sobre a origem dos erros fornece uma base sólida para o desenvolvimento de planos de ação eficazes e melhoria do desempenho global do processo.

3.3.2.3.Cálculo RPN / Representação Gráfica dos Resultados

De acordo com [4] e [15], o uso do critério “D” – *deteção*, pode gerar resultados imprecisos devido à sua volatilidade e dificuldade de quantificação. Como alternativa, é utilizada a Eq. 3-3, priorizando as componentes *Severidade* e *Ocorrência* e desconsiderando o parâmetro *Deteção*.

$$RPN = S * O \quad \text{Eq. 3-3.}$$

Estas duas componentes posteriormente são representadas graficamente, recorrendo à Matriz de Risco tendo a *Severidade* nas abcissas e a *Ocorrência* nas ordenadas. Com o gráfico representado na Figura 3.8 é possível retirar as áreas de risco em função da graduação dos dois parâmetros, ajudando na visualização dos resultados e na hierarquização do risco das tarefas.

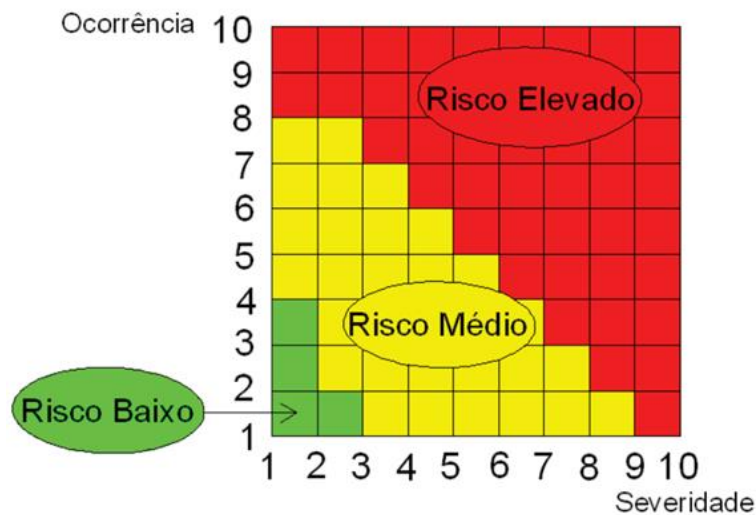


Figura 3.8 - Gráfico das áreas de risco em função da graduação dos dois parâmetros (Severidade*Ocorrência), [15].

A Figura 3.9 apresenta um exemplo da aplicabilidade da matriz de risco para representação gráfica de RPN.

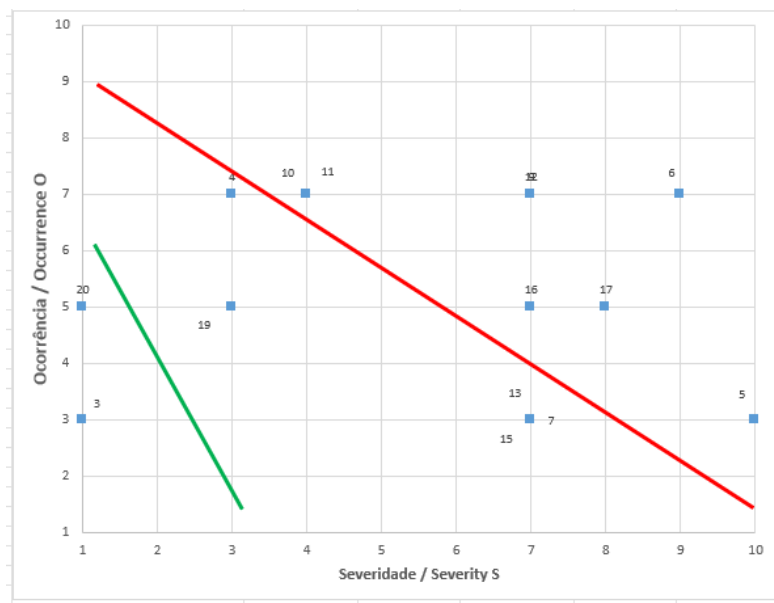


Figura 3.9 - Exemplo da representação gráfica dos resultados em Excel, Gráfico de Dispersão, [19].

Os valores de RPN, foram utilizados para gerar uma tabela em que estes estão organizados por ordem decrescente, Figura 3.10, juntamente com a identificação da tarefa (número e nome) e um código de cores, que representa as áreas de risco dos gráficos de dispersão.

- Vermelho: risco elevado,
- Amarelo: um risco médio
- Verde: risco baixo.

Nº da Tarefa	RPN	Nome
6	63	Paredes
9	49	Impermeabilização
12	49	Pavimento térreo
17	40	Equipamento casa máquinas
16	35	Ligação casa máquinas
5	30	Alvenaria blocos
10	28	Pastilha
11	28	Pedra bordo
4	21	Laje de fundo
7	21	Cura
13	21	CC Casa máquinas
15	21	Águas esgotos
19	15	Remates e equipamentos
20	5	Limpezas finais e ensaios
3	3	Escavação

Figura 3.10 – Exemplo de tabela do cálculo de RPN por ordem decrescente de RPN.

3.4.CASOS DE ESTUDO

3.4.1.OBRA_1

A primeira obra a ser analisada é a construção do edifício administrativo das instalações da Garland em Valadares, Gaia, Figura 3.11. Este consiste em um edifício administrativo incorporado numa nave industrial e teve início a sua construção a 7 de dezembro de 2021, com a conclusão planeada para 29 de julho de 2022. Apesar de a nível de datas iniciais e finais, a obra não ter tido atrasos no prazo global da empreitada, não significa que não tenha havido atrasos no desenvolvimento da obra, mas sim que as medidas corretivas aplicadas se traduziram em sucesso.



Figura 3.11 - Fotografia Edifício Administrativo Garland Valadares.

A *Severidade* foi calculada pela Eq. 3-2 e pela Tabela 3-4.

Para este cálculo ser possível, necessita-se dos valores de *NTS*, *NTSc*, *NTC*, *NDE* da respectiva tarefa e do prazo global da empreitada. Todos estes dados podem ser obtidos pela avaliação do plano inicial de trabalhos fornecido pela empresa, Figura 3.12.

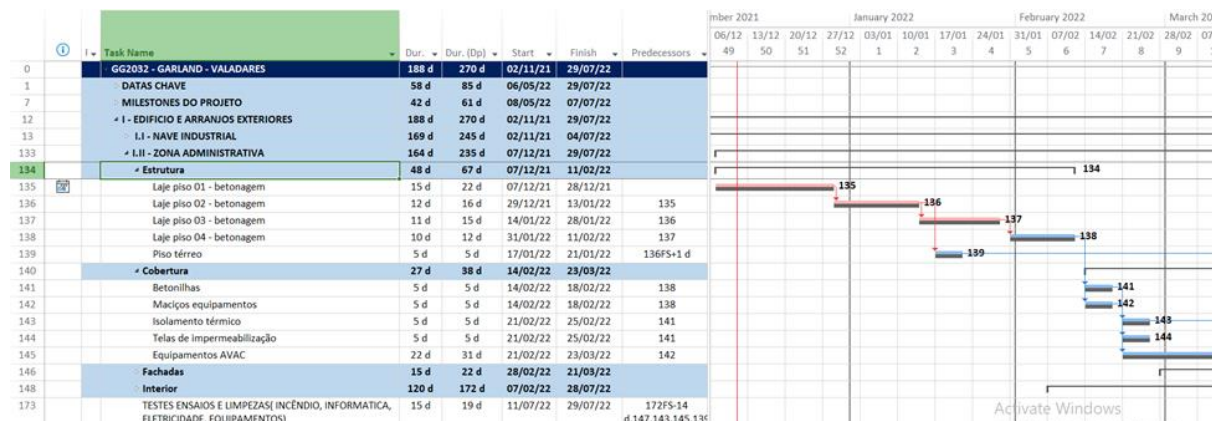


Figura 3.12 - Excerto do Planeamento da Obra 1.

Em seguida, os valores recolhidos são introduzidos numa tabela de Excel, Figura 3.13, já programada para dar o valor final de S .

[illegible]

Figura 3.13 - Exemplo da tabela de cálculo de S e RPN, Obra 1.

Depois de todas as tarefas estarem classificadas a nível da *Severidade*, o próximo passo será atribuir um valor de *Ocorrência* a cada tarefa.

Assim como é referido em 3.3.2.2, a *Ocorrência* é utilizada para a avaliação da probabilidade de o Modo de Falha ocorrer. O método utilizado para essa finalidade, foi a proposta de graduação com base no inquérito anteriormente apresentado.

Com toda a informação necessária reunida, Figura 3.14, o passo seguinte é o cálculo dos valores de RPN, Figura 3.15, e o desenho dos gráficos de dispersão, Figura 3.16 - Gráfico de dispersão de RPN, Obra 1.

			Interveniente 1	Interveniente 2	Interveniente 3	O. f
Estrutura	1	Laje piso 01 - betonagem	1 6	- 6	- 6	6
	2	Laje piso 02 - betonagem	5 6	- 6	- 6	6
	3	Laje piso 03 - betonagem	7 6	- 6	- 6	6
	4	Laje piso 04 - betonagem	1 6	- 6	- 6	6
	5	Piso térreo	1 4.285714286	- 6	- 4.875	5.05357
Cobertura	6	Betonilhas	1 5.625	- 4.5	- 4.125	4.75
	7	Maciços equipamentos	1 4.5	- 6.375	- 3.375	4.75
	8	Isolamento térmico	1 4.125	- 6.75	- 6	5.625
	9	Telas de impermeabilização	1 6.375	- 7.125	- 6	6.5
	10	Equipamentos AVAC	1 6	- 7.125	- 5.625	6.25
Fachada	11	Caixilharia alumínio	1 6.75	- 6.75	- 6.75	6.75
	12	Betonilhas	10 5.625	- 5.625	- 4.5	5.25
Interior	13	Paredes gesso cartonado - Estrutura + placa	10 5.25	- 6	- 5.625	5.625
	14	Infra-elétricas - Tubagens	7 6	- 5.25	- 5.625	5.625
	15	Infra-hidráulicas - Tubagens	7 5.25	- 6	- 5.25	5.5
	16	Infra-Avac - Tubagens e condutas	7 6	- 6	- 5.625	5.875
	17	Elevador	1 6	- 6.375	- 5.25	5.875
	18	Paredes 2ª Placa, inclui emassamento	8 5.25	- 6.375	- 5.25	5.625
	19	Cerâmicos Lambrim Wc's	9 5.625	- 5.625	- 5.25	5.5
	20	Infra-elétricas - Quadros e enfiamento	7 6	- 6	- 6.375	6.125
	21	Infra-Avac - Equipamentos	7 6	- 6.375	- 4.5	5.625
	22	Paredes gesso cartonado e Paredes 2ª Placa, inclui e	8 5.25	- 6.375	- 5.25	5.625
	23	Pinturas primeiras demão	6 5.625	- 6	- 4.5	5.375
	24	Vinílicos	7 5.25	- 6.375	- 6.75	6.125
	25	Carpintarias	5 7.125	- 6.375	- 6	6.5
	26	Vãos interiores em alumínio	5 6.75	- 6.75	- 6.375	6.625
	27	Bancada corian	1 5.625	- 5.625	- 6.375	5.875
	28	Loiças e equipamentos sanitários	1 5.625	- 5.625	- 4.875	5.375
	29	Cacifos	1 5.625	- 4.875	- 3.75	4.75
	30	Espelhos	1 4.125	- 4.875	- 4.125	4.375
	31	Tetos falsos acessíveis	1 5.25	- 5.625	- 5.625	5.5
	32	Estores	1 5.625	- 6	- 5.625	5.75
	33	Infra-Avac - Greijas e aparelhagem comando	1 6	- 5.625	- 4.875	5.5
	34	Infra-elétricas - Armaduras aparelhagem comando	1 6	- 5.25	- 4.875	5.375
	35	Pinturas últimas demão	1 5.625	- 5.625	- 4.875	5.375
	36	TESTES ENSAIOS E LIMPEZAS(INCÊNDIO, INFORMATICA, ELETRICIDADE, EQUIPAMENTOS)	1 5.25	- 4.5	- 5.625	5.125

Figura 3.14 - Tabela resumo dos parâmetros, referente à Obra_1.

Tarefa	RPN	Nome
13	6	Paredes gesso cartonado - Estrutura + placa 1ª Face
12	30	Betonilhas
19	42	Cerâmicos Lambrim Wc's
18	6	Paredes 2ª Placa, inclui emassamento
22	5.053571	Tetos gesso cartonado e Paredes 2ª Placa, inclui emassamento
20	4.75	Infra-elétricas - Quadros e enfiamentos
24	4.75	Vinílicos
3	5.625	Laje piso 03 - betonagem
16	6.5	Infra-Avac - Tubagens e condutas
14	6.25	Infra-elétricas - Tubagens
21	6.75	Infra-Avac - Equipamentos
15	52.5	Infra-hidráulicas - Tubagens
26	56.25	Vãos interiores em alumínio
25	39.375	Carpintarias
23	38.5	Pinturas primeiras demão
2	41.125	Laje piso 02 - betonagem
11	5.875	Caixilharia alumínio
9	45	Telas de impermeabilização
10	49.5	Equipamentos AVAC
1	42.875	Laje piso 01 - betonagem
4	39.375	Laje piso 04 - betonagem
17	45	Elevador
27	32.25	Bancada corian
32	42.875	Estores
8	32.5	Isolamento térmico
31	33.125	Tetos falsos acessíveis
33	5.875	Infra-Avac - Greijas e aparelhagem comando
28	5.375	Loiças e equipamentos sanitários
34	4.75	Infra-elétricas - Armaduras aparelhagem comando
35	4.375	Pinturas últimas demão
36	5.5	TESTES ENSAIOS E LIMPEZAS(INCÊNDIO, INFORMATICA, ELETRICIDADE, EQUIPAMENTOS)
5	5.75	Piso térreo
6	5.5	Betonilhas
7	5.375	Maciços equipamentos
29	5.375	Cacifos
30	5.125	Espelhos

Figura 3.15 - Tabela do cálculo de RPN por ordem decrescente, Obra_1

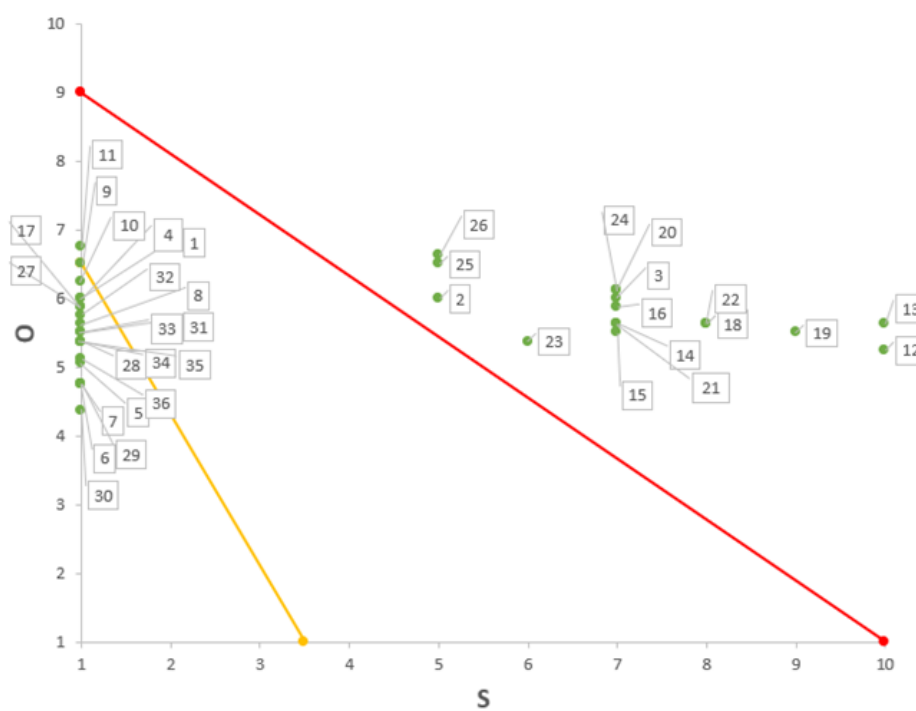


Figura 3.16 - Gráfico de dispersão de RPN, Obra_1.

3.4.2.OBRA_2

A segunda obra estudada é o edifício administrativo de 2 pisos da Borgwaner, localizado em Viana do Castelo, Figura 3.17. A obra teve início a 24 de janeiro de 2022 e conclusão prevista para 30 de setembro de 2022. Tal como na primeira, foram tomadas medidas corretivas, no entanto o prazo final da empreitada foi ultrapassado.



Figura 3.17 - Fotografia do edifício da Borgwaner, Viana do Castelo.

No que diz respeito à aplicabilidade do método, nesta segunda obra não foi efetuada nenhuma alteração na metodologia, uma vez que o objetivo é a validação do método FMEA, em que o mesmo tem como objetivo ser o mais sistemático possível, minimizando as oportunidades para anomalias.

Para o cálculo da *Severidade* recorreu-se novamente ao plano de trabalhos no programa *MS Project*, Figura 3.18, de forma recolher os parâmetros: *NTS*, *NTSc*, *NTC*, *NDE* de cada tarefa e o prazo global da empreitada. Seguidamente foram introduzidos numa tabela de *Excel*, Figura 3.18, já programada, para retirarmos os valores de *Severidade*.

											Data de início / Start date		24/01/2022
											Data de final / Finish date		30/09/2022
											Prazo Global / Global schedule		180
Nº MS.P	Task	Descrição	NTS		NTSc		NTC		Data Início	NDE	IS	IS/Ismax	S
			Tasks	Valor	Tasks	Valor	Tasks	Valor					
8	MOVIMENTO DE TERRAS												
9	Escavação sapatas e vigas de fundação		11	2	21	21	65	65	24/01/2022	1	2.641666667	0.026069079	1
10	FUNDAÇÕES												
11	Sapatas		12+14	3	20	20	64	64	27/01/2022	4	9.666666667	0.095394737	1
12	Vigas e linteis de fundação		107	2	20	20	64	64	10/02/2022	14	33.75555556	0.333114035	4
13	BETÃO SIMPLES E ARMADO												
14	Pilares, paredes, escadas e lajes		25	2	19	19	64	64	10/02/2022	14	30.72222222	0.303179825	4
15	Maciços para equipamentos		107	2	0	0	49	49	06/05/2022	75	11.04166667	0.108963816	2
16	ESTRUTUTURA PRÉ-FABRICADA EM BETÃO												
17	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 01		20+19	3	18	18	63	63	02/03/2022	28	55.76666667	0.550328947	6
18	Lajes alveolares - 1ª Entrega		21+19	3	18	18	61	61	16/03/2022	38	75.47222222	0.744791667	8
19	1ª Betonagem		27	2	18	18	60	60	21/03/2022	41	81.08888889	0.800219298	9

Figura 3.18 - Tabela de Cálculo de S e RPN, Obra_2.

Em seguida, repetem-se os inquéritos de modo que, como na obra anterior, recolhemos as opiniões de três membros da equipa de análise de risco, que se irão refletir-se na classificação do parâmetro *Ocorrência Final*.

Com toda a informação recolhida, pode-se elaborar uma tabela como a Figura 3.19, que será a base para as ferramentas de análise.

			Interveniente 1		Interveniente 2		Interveniente 3		O f
			S	O	S	O	S	O	
MOVIMENTO DE TERRAS	1	Escavação sapatas e vigas de fundação	1	4.875	-	7.875	-	5.25	6
FUNDAÇÕES	2	Sapatas	1	5.625	-	7.125	-	5.25	6
	3	Vigas e linteis de fundação	4	5.625	-	7.125	-	5.25	6
BETÃO SIMPLES E ARMADO	4	Pilares, paredes, escadas e lajes	4	6	-	7.125	-	5.625	6.25
	5	Maciços para equipamentos	2	5.625	-	6.375	-	4.125	5.375
ESTRUTUTURA PRÉ-FABRICADA EM BETÃO	6	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 01	6	6	-	7.125	-	6.75	6.625
	7	Lajes alveolares - 1ª Entrega	8	6	-	6.375	-	6.75	6.375
	8	1ª Betonagem	9	6	-	6.375	-	6	6.125
	9	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 02	8	6	-	7.125	-	6.75	6.625
	10	Lajes alveolares - 2ª Entrega	9	6	-	6.375	-	6.75	6.375
	11	2ª Betonagem	10	6	-	6.375	-	6	6.125
	12	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 03	9	6	-	7.125	-	6.75	6.625
	13	Lajes alveolares - 3ª Entrega	10	6	-	6.375	-	6.75	6.375
	14	3ª Betonagem	10	6	-	6.375	-	6	6.125
PAVIMENTO TÉRREO	15	Pavimento térreo, inclui infra enterradas	10	5.625	-	7.125	-	4.5	5.75
COBERTURA	16	Sistema sinfónico	2	6.375	-	6.375	-	6.375	6.375
	17	Muretes e chaminés	2	5.25	-	6.375	-	6.375	6
	18	Camada de forma	2	6.375	-	6.75	-	4.5	5.875
	19	Isolamento térmico PIR 60 mm	2	4.5	-	6.75	-	6	5.75
	20	Telas de impermeabilização TPO	2	7.125	-	6.375	-	7.125	6.875
	21	Lajetas de betão	2	4.5	-	3.75	-	4.125	4.125
	22	Clarabóia fixa alumínio	2	6.375	-	6.375	-	7.5	6.75
	23	Murete [Pátios]	2	5.625	-	6	-	4.125	5.25
	24	Camada de forma [Pátios]	2	6	-	6.75	-	6	6.25
	25	Telas de impermeabilização [Pátios]	2	6.75	-	6.75	-	7.125	6.875
	26	Guardas - chumbadouros [Pátios]	2	6.375	-	6.375	-	6	6.25
	27	Isolamento térmico PIR 60 mm [Pátios]	2	4.875	-	6.75	-	6	5.875
	28	Guardas metálicas [Pátios]	2	6.75	-	7.125	-	6.375	6.75
	29	Lajetas de betão [Pátios]	2	4.5	-	4.5	-	4.5	4.5
FACHADAS	30	Vãos exteriores em alumínio	2	7.125	-	7.125	-	7.875	7.375
	31	Chapa de transição em alumínio	2	7.125	-	7.125	-	6.375	6.875
PISO 00	32	AVAC - Tubagens e condutas	10	6.75	-	6	-	5.25	6
	33	Sprinkler's	10	6	-	6.375	-	5.25	5.875
	34	Elétricas Tubagens e caminhos de cabos	10	6	-	6	-	5.625	5.875
	35	GTC - Tubagens e caminhos de cabos	10	5.625	-	6.75	-	4.5	5.625

Figura 3.19 - Tabela resumo, Obra_2.

Tendo já todas informações de Severidade e Ocorrência recolhidas e organizadas, pode-se fazer a exposição do problema, por gráfico de dispersão, Figura 3.21 e a elaboração da tabela dos RPN, Figura 3.20.

Nº	Nome	S	O	RPN
13	Lajes alveolares - 3ª Entrega	10	6.375	63.75
11	2ª Betonagem	10	6.125	61.25
14	3ª Betonagem	10	6.125	61.25
32	AVAC - Tubagens e condutas	10	6	60
12	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 03	9	6.625	59.625
33	Sprinkler's	10	5.875	58.75
34	Elétricas Tubagens e caminhos de cabos	10	5.875	58.75
15	Pavimento térreo, inclui infra enterradas	10	5.75	57.5
10	Lajes alveolares - 2ª Entrega	9	6.375	57.375
35	GTC - Tubagens e caminhos de cabos	10	5.625	56.25
8	1ª Betonagem	9	6.125	55.125
9	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 02	8	6.625	53
7	Lajes alveolares - 1ª Entrega	8	6.375	51
36	Gesso cartonado - Est. + Placa 1ª face	8	6	48
6	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 01	6	6.625	39.75
64	AVAC - Equipamentos em tetos	6	6.5	39
58	Gesso cartonado - Estrutura + placagem de uma face	6	6.125	36.75
63	AVAC - Tubagens e condutas	6	6	36
59	Sprinkler's	6	5.875	35.25
60	Elétricas Tubagens e caminhos de cabos	6	5.875	35.25
61	GTC - Tubagens e caminhos de cabos	6	5.625	33.75
62	Hidráulicas - Tubagens	6	5.5	33
65	Gesso cartonado - Fecho de parede e tetos + Emassamento	5	6.25	31.25
66	Cerâmicos pav + par	5	5.875	29.375
67	Pinturas 1ªs demão	5	5.625	28.125
4	Pilares, paredes, escadas e lajes	4	6.25	25
3	Vigas e linteis de fundação	4	6	24
69	Elétricas - Pavimento Tubagens e caminhos de cabos, enfiament	4	5.625	22.5
68	Teto modular	3	5.875	17.625
70	Pavimento técnico sobrelevado	3	5.875	17.625
30	Vãos exteriores em alumínio	2	7.375	14.75
20	Telas de impermeabilização TPO	2	6.875	13.75
25	Telas de impermeabilização[Patios]	2	6.875	13.75
31	Chapa de transição em alumínio	2	6.875	13.75
22	Clarabóia fixa alumínio	2	6.75	13.5
28	Guardas metálicas[Patios]	2	6.75	13.5
39	Elétricas Enfiamentos e quadros elétricos	2	6.625	13.25
42	Epoxy em pavimentos - Laboratório	2	6.625	13.25

Figura 3.20- Excerto Tabela RPN, Obra_2.

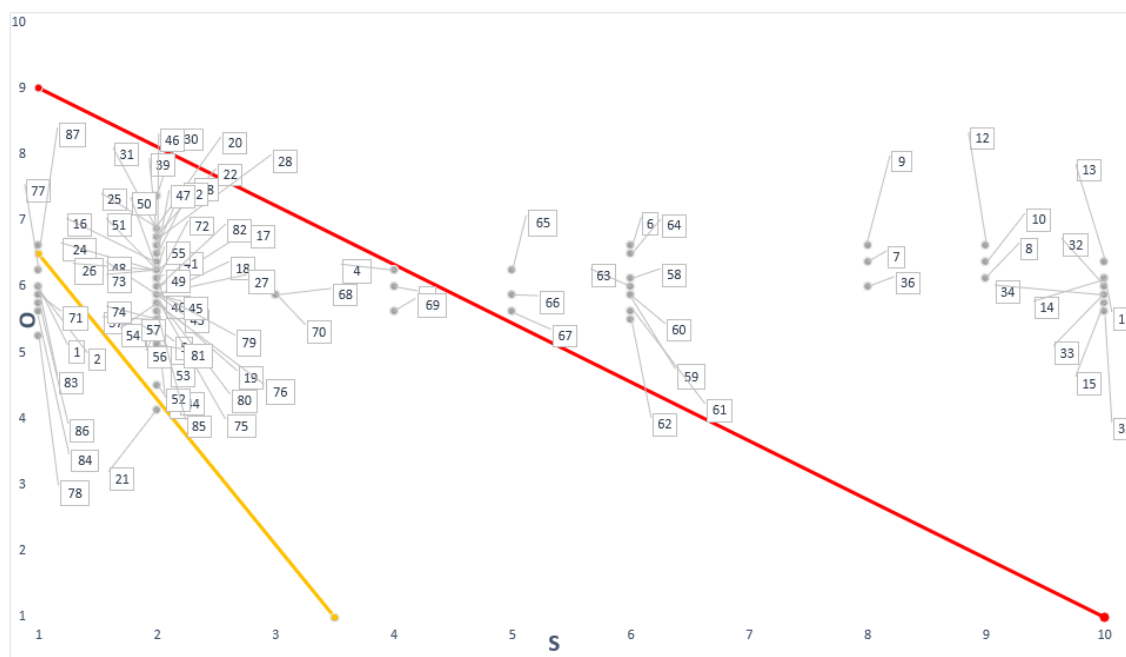


Figura 3.21 - Gráfico de Dispersão (S, O), Obra_2.

3.4.3.INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Da análise dos gráficos de dispersão conclui-se que a acumulação de tarefas verificada nos gráficos de dispersão gera uma grande dificuldade na interpretação visual dos resultados, mesmo com o auxílio da listagem de *RPN* como guia.

Essa acumulação pode ter origem em erros metodológicos ou na alteração da escala de avaliação verificada no inquérito na *Ocorrência*, que passou de [1-10] para [3-9]. Todavia, essa alteração não invalida os resultados obtidos pelo método, mas evidencia a necessidade de ajustes no questionário e na sua classificação para futuros trabalhos. Além disso, erros humanos na identificação das tarefas podem prejudicar o cálculo de *S*. Neste sentido, no capítulo seguinte será apresentado um processo que procura ultrapassar esta limitação.

4 PROPOSTA DE AVALIAÇÃO COMPLEMENTAR

4.1. INTRODUÇÃO

Tendo por base a interpretação de resultados exposta anteriormente, propõe-se uma Avaliação Complementar para tornar o método menos subjetivo e validar os resultados obtidos. A Avaliação Complementar consiste numa metodologia que indica a forma de análise a ser realizada, não se limitando apenas a uma extensa lista de dados e classificações. Com a implementação desta, espera-se que o processo de avaliação seja mais expedito e preciso, tornando-o mais fiável para ser aplicado noutros projetos de Engenharia.

4.2. METODOLOGIA DE BASE

Inicialmente o gráfico de dispersão, Figura 4.1, que é proposto anteriormente apresenta as seguintes áreas de classificação do nível de risco.

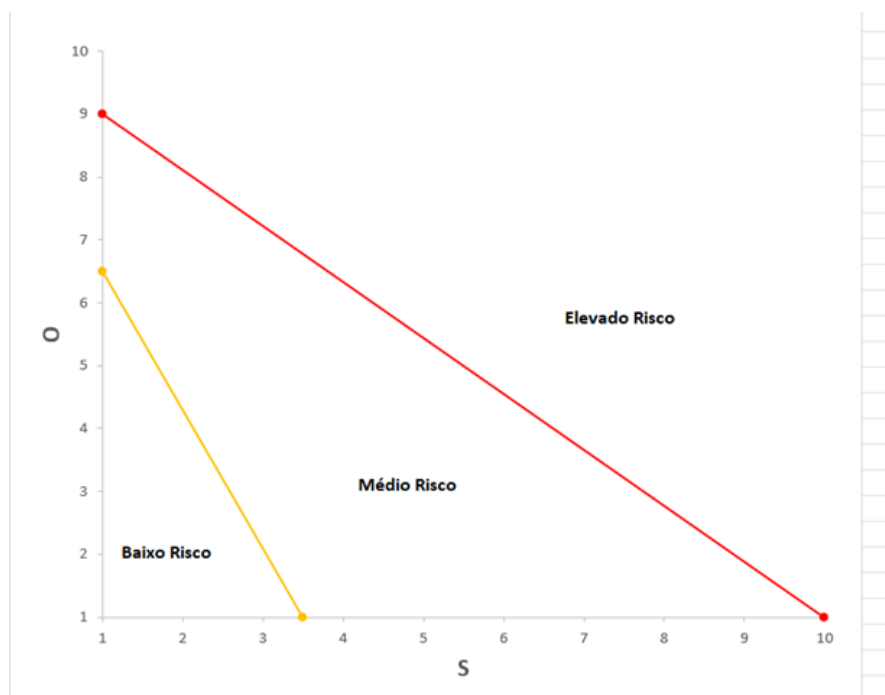


Figura 4.1- Representação Gráfica dos Níveis de Risco.

Partindo do pressuposto que o parâmetro de *Ocorrência* está corretamente balizado e avaliado, embora haja possibilidade de erros de classificação por parte dos intervenientes ou pelo erro de escala, as limitações impostas pelo inquérito e a intervenção de vários membros da equipa de análise de risco permitem um grau satisfatório de confiança na classificação.

Na avaliação do parâmetro *Severidade* não se pode ter total confiança nos dados empíricos, mas a confiança é atribuída ao parâmetro, pois os erros do mesmo são identificáveis.

Além disso, é importante destacar que a execução do plano de trabalhos é fundamental para essa avaliação, uma vez que a avaliação da *Severidade* leva em conta o fator *Tempo*. Assim, uma má execução do plano de trabalhos pode resultar, não só num mau planeamento da obra, mas também numa avaliação inadequada da FMEA.

4.3. PROPOSTA DE AVALIAÇÃO

Com o objetivo de garantir a deteção de erros, foram definidos dois novos eixos verticais com as respetivas abcissas $S=2,5$ e $S=8,5$, que se encontram equidistantes das extremidades do referencial e já assumindo um "coeficiente de segurança". Essa nova representação gráfica passa, agora, a ter três áreas, "Área 1", "Área 2" e "Área 3", distintas para uma melhor visualização e melhor classificação dos riscos, Figura 4.2.

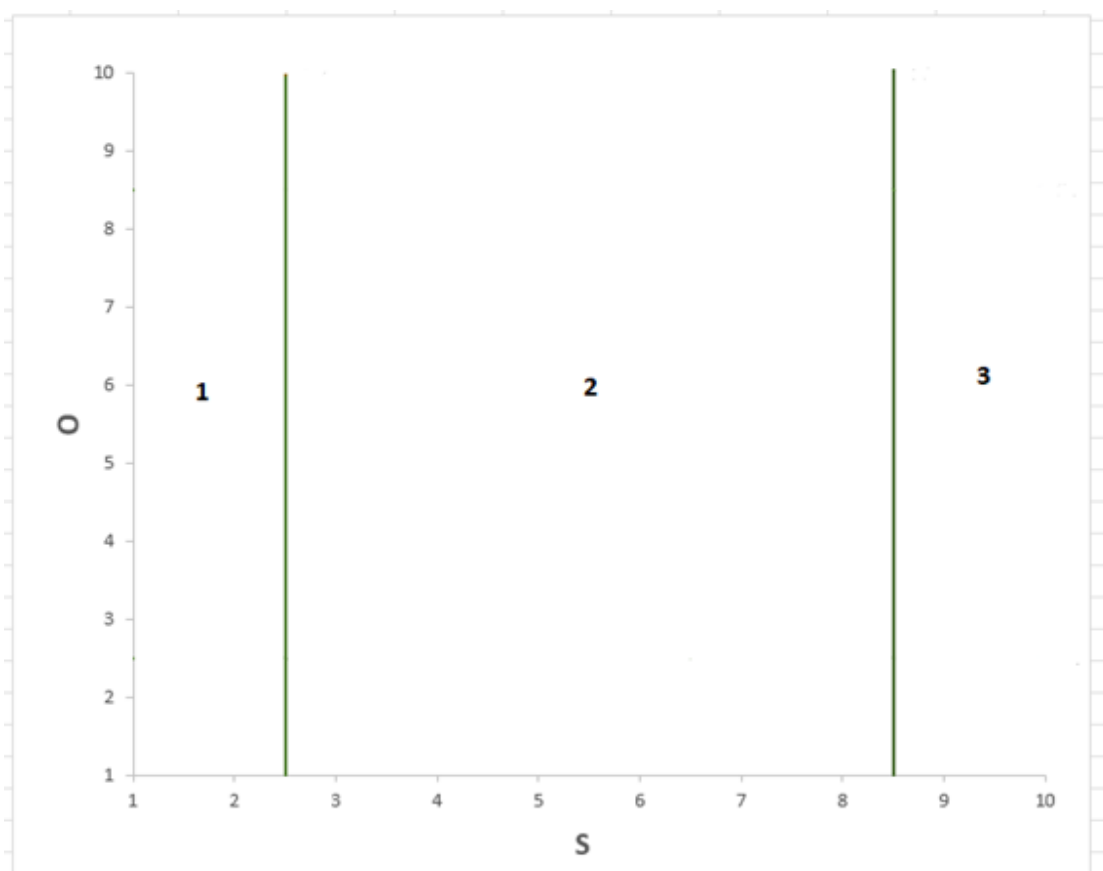


Figura 4.2 - Representação Gráfica das três Áreas de Avaliação.

A “Área 1”, referente à Figura 4.2, será considerada como a área de menor precisão, pois a formulação do método prevê a presença de tarefas mal classificadas. A criação desta área permitirá que a equipe de análise de risco avalie as tarefas presentes na mesma com a consciência de que nessa amostra haverá erros certamente. Uma vez que o parâmetro *S* pode conter erros, a equipe deve focar a sua avaliação no parâmetro *Ocorrência* e nas experiências pessoais adquiridas em obras anteriores. É importante realçar que dentro dessa área, algumas tarefas estão bem classificadas, sendo a finalidade desta encontrar os erros existentes, e não invalidar a avaliação de todas as tarefas.

Já a “Área 2” e a “Área 3” serão consideradas as áreas de maior confiança, onde será possível ter uma maior segurança na análise dos resultados obtidos. Pela formulação matemática da *Severidade*, não há evidências de que nessas duas áreas serão encontrados erros como na anterior. Além disso, foi possível perceber, na Figura 3.16 e Figura 3.21, que quanto mais bem especificado for o plano de trabalhos, melhor será a distribuição de tarefas entre as áreas, ou seja, em planos de trabalhos mais pequenos, como o da Obra_1, o método gera piores resultados. Apesar de haver um aumento de tarefas acumuladas com o aumento do PT, essa acumulação não impede a validação do método, pois na área onde existe essa acumulação, “Área 1”, é esperada a existência de erros que serão detetados posteriormente, enquanto as restantes áreas serão bem avaliadas em termos de risco.

A “Área 3” não transmite apenas confiança, mas também tem como objetivo destacar qual é o grupo de tarefas mais gravosas dentro do risco elevado, bem como procurar anomalias na classificação das próprias.

A Figura 4.3 representa a interseção das duas representações, Níveis de Risco e Áreas de Avaliação.

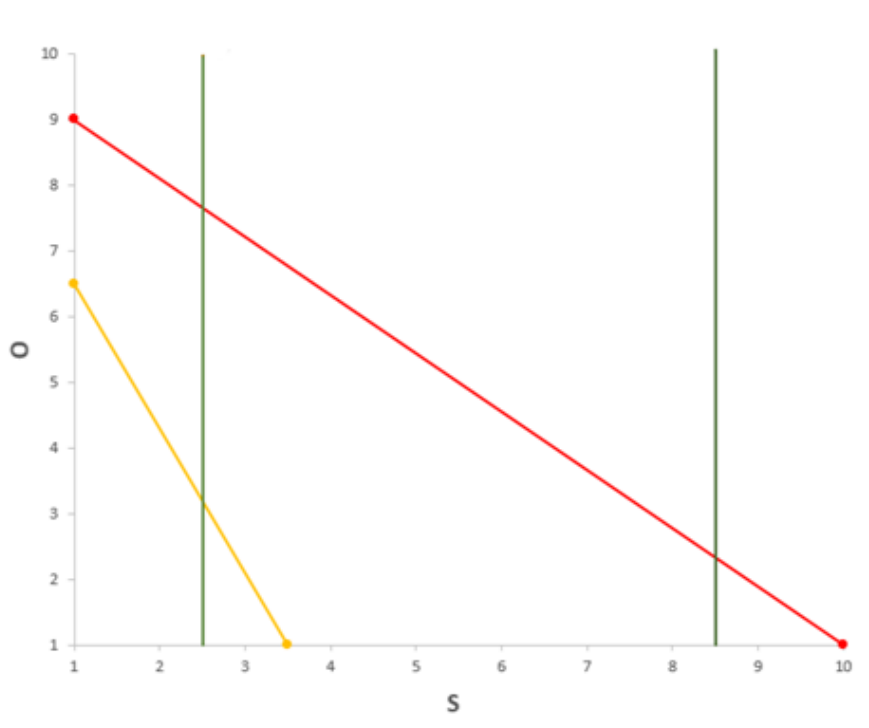


Figura 4.3 - Representação Gráfica dos Níveis de Risco, linhas diagonais, em conjunto com a Áreas de Avaliação, linhas verticais.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OBRA_1

Passando, então, há análise dos resultados da nova proposta de metodologia de avaliação, os gráficos de dispersão e a tabela dos RPN constituem não só o resultado da ferramenta, mas também a base de dados para a nova proposta.

Sendo assim, examinando o gráfico de dispersão em conjunto com as linhas de nível de risco e as linhas que definem as novas áreas de avaliação, geram-se três tabelas representadas na Figura 4.4, na Figura 4.5 e na Figura 4.6, que correspondem, respetivamente, às áreas 3, 2 e 1.

Tarefa	Nome	S	O_f	RPN
13	Paredes gesso cartonado - Estrutura + placa 1ª Face	10	5.625	56.25
12	Betonilhas	10	5.25	52.5
19	Cerâmicos Lambrim Wc's	9	5.5	49.5

Figura 4.4 - Tabela Representativa da Área 3, Obra_1.

Tarefa	Nome	S	O_f	RPN
18	Paredes 2ª Placa, inclui emassamento	8	5.625	45
22	Tetos gesso cartonado e Paredes 2ª Placa, inclui emassamento	8	5.625	45
20	Infra-elétricas - Quadros e enfiamentos	7	6.125	42.875
24	Vinílicos	7	6.125	42.875
3	Laje piso 03 - betonagem	7	6	42
16	Infra-Avac - Tubagens e condutas	7	5.875	41.125
14	Infra-elétricas - Tubagens	7	5.625	39.375
21	Infra-Avac - Equipamentos	7	5.625	39.375
15	Infra-hidráulicas - Tubagens	7	5.5	38.5
26	Vãos interiores em alumínio	5	6.625	33.125
25	Carpintarias	5	6.5	32.5
23	Pinturas primeiras demão	6	5.375	32.25
2	Laje piso 02 - betonagem	5	6	30

Figura 4.5 - Tabela Representativa da Área 2, Obra_1.

Tarefa	Nome	S	O_f	RPN
11	Caixilharia alumínio	1	6.75	6.75
9	Telas de impermeabilização	1	6.5	6.5
10	Equipamentos AVAC	1	6.25	6.25
1	Laje piso 01 - betonagem	1	6	6
4	Laje piso 04 - betonagem	1	6	6
17	Elevador	1	5.875	5.875
27	Bancada corian	1	5.875	5.875
32	Estores	1	5.75	5.75
8	Isolamento térmico	1	5.625	5.625
31	Tetos falsos acessíveis	1	5.5	5.5
33	Infra-Avac - Grelhas e aparelhagem comando	1	5.5	5.5
28	Loiças e equipamentos sanitários	1	5.375	5.375
34	Infra-elétricas - Armaduras aparelhagem comando	1	5.375	5.375
35	Pinturas ultimas demão	1	5.375	5.375
36	TESTES ENSAIOS E LIMPEZAS(INCÊNDIO, INFORMATICA, ELETRICIDADE, EQUIPAMENTOS)	1	5.125	5.125
5	Piso térreo	1	5.053571	5.053571
6	Betonilhas	1	4.75	4.75
7	Maciços equipamentos	1	4.75	4.75
29	Cacifos	1	4.75	4.75
30	Espelhos	1	4.375	4.375

Figura 4.6 - Tabela Representativa da Área 1, Obra_1.

Interpretando a tabela da "Área 1", esta apresenta 20 tarefas, das quais 18 são de baixo risco e 2 são de médio risco. O objetivo para esta área é identificar erros de classificação, e a equipa de risco analisou este conjunto de tarefas com essa intenção. Por conseguinte, após a avaliação, foi concluído que as tarefas classificadas erradamente são:

- Tarefa 1: Laje de piso 1 - betonagem;
- Tarefa 4: Laje de piso 4 - betonagem;
- Tarefa 5: Piso térreo;
- Tarefa 6: Betonilhas.

Numa segunda análise, foi concluído que as duas tarefas de médio risco poderiam ser consideradas bem classificadas em termos do seu nível de risco, no entanto, como estão localizadas no início da "Área 1" e têm um valor *RPN* baixo, estando quase a ser consideradas baixo risco, também devem ser consideradas mal classificadas, porque deveriam ter uma classificação mais gravosa.

- Tarefa 9: Membranas impermeabilizantes;
- Tarefa 11: Caixilharia em alumínio.

Olhando para as outras duas áreas, ambas são compostas inteiramente por tarefas de alto risco. A "Área 2" é composta por tarefas que também são propícias a gerar atrasos relevantes, daí serem assinaladas. A avaliação da Área 3 passa por destacar com maior ênfase todas as tarefas que lhe pertencem, pois são as que têm um maior impacto negativo na obra aquando da sua ocorrência.

Assim, a aplicação da FMEA à obra, permitiu uma boa compreensão da gravidade das 36 tarefas que constituem o PT. A aplicação desta proposta pretendeu conceber um caminho a ser adotado na interpretação dos dados de forma a aumentar a eficiência e a sistematização do método. Identificou-se o conjunto de tarefas que requerem maior controle e de medidas de mitigação de erros mais preponderantes.

Esse conjunto de tarefas representa aproximadamente 67% do plano de trabalho, 24 tarefas, das quais 3 tarefas constituem as tarefas mais gravosas representadas na "Área 3", 13 tarefas pertencentes à "Área 2", e, por fim, 6 tarefas que representam os erros detetados na "Área 1".

Embora a parte final da FMEA, consista na definição de medidas preventivas e corretivas, estas não foram concretizadas, uma vez não serem necessárias para a validação da análise de risco. É importante realçar que todo o processo é probabilístico e, portanto, essas medidas devem ser estabelecidas para todas as 36 tarefas e não apenas para as 24 destacadas, estas apenas requerem priorização.

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OBRA 2

Avaliando agora a segunda obra, tal como na avaliação da primeira, utilizou-se as informações recolhidas com base nos gráficos de dispersão e na listagem dos *RPN*, em conjunto com a proposta de avaliação.

Assim sendo e como previamente executado, teremos tabelas associadas a cada área, que nos permite uma avaliação menos complexa visualmente e onde cada área tem o seu próprio foco, tornado a avaliação mais direcionada.

As tabelas representadas pela Figura 4.7 e pela Figura 4.8 correspondem respetivamente à "Área 3" e à "Área 2", e as tabelas representadas pela Figura 4.9 e pela Figura 4.10 correspondem à "Área 1".

Nº	Nome	S	O	RPN
13	Lajes alveolares - 3ª Entrega	10	6.375	63.75
11	2ª Betonagem	10	6.125	61.25
14	3ª Betonagem	10	6.125	61.25
32	AVAC - Tubagens e condutas	10	6	60
12	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 03	9	6.625	59.63
33	Sprinkler's	10	5.875	58.75
34	Elétricas Tubagens e caminhos de cabos	10	5.875	58.75
15	Pavimento térreo, inclui infra enterradas	10	5.75	57.5
10	Lajes alveolares - 2ª Entrega	9	6.375	57.38
35	GTC - Tubagens e caminhos de cabos	10	5.625	56.25
8	1ª Betonagem	9	6.125	55.13

Figura 4.7 - Tabela Representativa da Área 3, Obra_2

Nº	Nome	S	O	RPN
9	Pilares, vigas, painéis, lâminas - FASE 02	8	6.625	53
7	Lajes alveolares - 1ª Entrega	8	6.375	51
36	Gesso cartonado - Est. + Placa 1ª face	8	6	48
6	Pilares, vigas, painéis, lâminas -FASE 01	6	6.625	39.75
64	AVAC - Equipamentos em tetos	6	6.5	39
58	Gesso cartonado - Estrutura + placagem de uma face	6	6.125	36.75
63	AVAC - Tubagens e condutas	6	6	36
59	Sprinkler's	6	5.875	35.25
60	Elétricas Tubagens e caminhos de cabos	6	5.875	35.25
61	GTC - Tubagens e caminhos de cabos	6	5.625	33.75
62	Hidráulicas - Tubagens	6	5.5	33
65	Gesso cartonado - Fecho de parede e tetos + Emassamento	5	6.25	31.25
66	Cerâmicos pav + par	5	5.875	29.38
67	Pinturas 1ªs demão	5	5.625	28.13
4	Pilares, paredes, escadas e lajes	4	6.25	25
3	Vigas e linteis de fundação	4	6	24
69	Elétricas - Pavimento Tubagens e caminhos de cabos, enfiamentos	4	5.625	22.5
68	Teto modular	3	5.875	17.63
70	Pavimento técnico sobrelevado	3	5.875	17.63

Figura 4.8 - Tabela Representativa da Área 2, Obra_2

Nº	Nome	S	O	RPN
30	Vãos exteriores em alumínio	2	7.38	14.8
20	Telas de impermeabilização TPO	2	6.88	13.8
25	Telas de impermeabilização[Patios]	2	6.88	13.8
31	Chapa de transição em alumínio	2	6.88	13.8
22	Clarabóia fixa alumínio	2	6.75	13.5
28	Guardas metálicas[Patios]	2	6.75	13.5
39	Elétricas Enfiamentos e quadros elétricos	2	6.63	13.3
42	Epoxy em pavimentos - Laboratório	2	6.63	13.3
46	Vinílico pavimentos e paredes	2	6.63	13.3
38	AVAC - Equipamentos em tetos	2	6.5	13
47	Cortina corta-fogo	2	6.5	13
16	Sistema sinfónico	2	6.38	12.8
24	Camada de forma[Patios]	2	6.25	12.5
26	Guardas - chumbadouros[Patios]	2	6.25	12.5
41	Gesso cartonado - Fecho de parede e tetos + Emassamento	2	6.25	12.5
50	Portas automáticas em vidro	2	6.25	12.5
51	Cabines painéis fenólicos	2	6.25	12.5
55	Alcatifas	2	6.25	12.5
73	Cabines painéis fenólicos	2	6.25	12.5
40	GTC - Enfiamentos e quadros	2	6.13	12.3
49	Carpintarias - Portas, Armários e Apainelados	2	6.13	12.3
72	Carpintarias - Portas, Armários e Apainelados	2	6.13	12.3
17	Muretes e chaminés	2	6	12
82	Betão c/ endurecedor 6cm	2	6	12
18	Camada de forma	2	5.88	11.8
27	Isolamento térmico PIR 60 mm[Patios]	2	5.88	11.8
43	Cerâmicos Pav + Par	2	5.88	11.8
45	Teto modular	2	5.88	11.8
48	Vãos interiores em alumínio	2	5.88	11.8
79	Porta CF	2	5.88	11.8
19	Isolamento térmico PIR 60 mm	2	5.75	11.5
53	Equipamento sanitário	2	5.75	11.5
54	Rodapés metálicos	2	5.75	11.5
75	Equipamento sanitário	2	5.75	11.5
76	Rodapés metálicos	2	5.75	11.5
80	Elevador	2	5.75	11.5
44	Pinturas 1ªs demão	2	5.63	11.3
85	Guias e passeios	2	5.63	11.3
37	Hidráulicas - Tubagens	2	5.5	11

Figura 4.9 - Tabela_1 Representativa da Área 1, Obra_2

52	Vidros / espelhos	2	5.5	11
74	Vidros / espelhos	2	5.5	11
5	Maciços para equipamentos	2	5.38	10.8
56	Tapetes	2	5.38	10.8
23	Murete [Patios]	2	5.25	10.5
57	Pinturas e limpezas finais	2	5.25	10.5
81	Betão leve 9cm	2	5.13	10.3
29	Lajetas de betão[Patios]	2	4.5	9
21	Lajetas de betão	2	4.13	8.25
87	Camada desgaste	1	6.63	6.63
77	Alcatifas	1	6.25	6.25
1	Escavação sapatas e vigas de fundação	1	6	6
2	Sapatas	1	6	6
83	Carpintarias Corrimões	1	6	6
71	Vãos interiores em alumínio	1	5.88	5.88
86	Camadas de base	1	5.75	5.75
84	Corrimões metálicos	1	5.63	5.63
78	Pinturas e limpezas finais	1	5.25	5.25

Figura 4.10 - Tabela_2 Representativa da Área 1, Obra_2

A “Área 1” possui 57 tarefas, das quais 9 são de baixo risco e as restantes 48 são de médio risco. A equipa de risco identificou 10 erros de classificação nas tarefas dessa área, listadas abaixo, ou seja, as tarefas destacadas na lista de erros apresentam riscos significativos para o sucesso do projeto.

- Tarefa 1 - Escavação sapatas e vigas de fundação;
- Tarefa 2 – Sapatas;
- Tarefa 16 – Sistema sinfónico;
- Tarefa 20 – Vinílico pavimento e paredes;
- Tarefa 30 – Telas de impermeabilização TPO;
- Tarefa 37 - Hidráulicas – Tubagens;
- Tarefa 41 - Gesso cartonado - Fecho de parede e tetos + Emassamento;
- Tarefa 46 - Vinílico pavimentos e paredes;
- Tarefa 49 - Carpintarias - Portas, Armários e Apainelados;
- Tarefa 72 - Carpintarias - Portas, Armários e Apainelados.

Sucintamente, o plano de trabalhos desta obra é composto por 87 tarefas, das quais mais ou menos 46% delas estão englobadas nas tarefas que necessitam de maior controlo e maiores cuidados. Essa percentagem é composta por 40 tarefas, 11 delas pertencem à “Área 3”, zona mais gravosa e de maior destaque, 19 tarefas pertencem à “Área 2”, sendo 14 de elevado risco e as restantes 5 de médio risco e por último são destacados os 10 erros encontrados pela equipa de risco na “Área 1”.

4.6.VALIDAÇÃO

Com a aplicação da metodologia *FMEA*, pela ferramenta desenvolvida neste trabalho a duas empreitadas distintas, em conjunto com a Equipa de Risco, onde estão integrados os responsáveis pelo planeamento e acompanhamento das obras estudadas, é possível desempenhar a comparação dos resultados obtidos com a realidade.

Conclui-se que a *FMEA* pode ser válida como uma ferramenta de Análise de Risco, para o incumprimento de prazos em obras de engenharia civil.

4.6.1.JUSTIFICAÇÃO DA VALIDAÇÃO

Começando pelas áreas onde atribuímos inicialmente confiança ao método, seria esperado que as tarefas mais gravosas correspondessem maioritariamente a um dos seguintes domínios:

- Estrutura;
- Infraestruturas;
- Revestimento de pavimentos e paredes;
- Carpintarias.

Como pode ser observado nos subcapítulos anteriores, a maioria das tarefas de ambas as obras que se encontram na “Área 2” e na “Área 3” pertencem na maioritariamente aos domínios apresentados. Adicionalmente, as tarefas que não pertencem a esse grupo, foram classificadas como corretas. A exceção encontrada na avaliação destas áreas, foi na Obra_1, em que a tarefa “Cerâmicos Lambrim Wc’s” não deveria estar considerada na “Área 3”, uma vez não se comprovar tão gravosa na realidade, mas que poderia pertencer à “Área 2”.

Passando então à análise das “Área 1”, por comparação de ambas, foi possível identificar-se as origens dos erros encontrados. A primeira origem de erros é a que já foi explicada em capítulos anteriores correspondente ao cálculo da *Severidade*.

Em seguida é de notar que, em ambas as obras, as tarefas correspondentes a “telas de impermeabilização” e “caixilharia em alumínio”, deveriam ser consideradas como mais gravosas do que foram sendo que a razão para isso não se integra na posição delas no plano de trabalhos. Observou-se que ambos os grupos de trabalhos no planeamento a que as tarefas correspondem, Cobertura e Fachada, se encontram desligados dos restantes grupos. Com esse problema de ligações em mente, observaram-se que as restantes tarefas mal classificadas teriam por base o mesmo motivo, o que se verificou. Por exemplo, dentro das tarefas de um piso, as primeiras tarefas a realizar ainda influenciam o arranque do piso seguinte e por isso estão ligadas ao resto da obra, no entanto as que se encontram mal classificadas não padecem dessa influência, e daí não terem a referida ligação.

O erro não está no plano de trabalhos, dado que, efetivamente, essas tarefas não irão influenciar as restantes, contudo podem provocar atrasos em consequência da sua localização na obra e o seu atraso repercute-se no atraso final da obra. Este fenómeno acontece, uma vez que os parâmetros usados no cálculo da *Severidade*, têm em conta, unicamente, fatores temporais e de ligação entre tarefas. Esta situação evidencia-se melhor na Obra_2, derivado da sua extensão.

Pode-se então concluir, sobre a avaliação da *Severidade* que com recurso à graduação proposta em [4] em conjunto com a proposta de avaliação complementar apresentada neste trabalho, que a confiança atribuída à “Área 2” e à “Área 3”, se pode confirmar, tendo-se obtido resultados positivos. Adicionalmente, foi possível a criação de uma área, onde sabemos que serão encontrados erros derivados da interação entre o plano de trabalhos e do método numérico da *Severidade*.

Todavia, foi possível complementar a lista de causas na avaliação e como as localizar, passando então a ser considerado que o cálculo da *Severidade* irá ter erros, localizados na “Área 1”, tornando o método ilegível para as seguintes exceções:

Tarefas Iniciais, ou seja, em que NDE é nulo ou muito pequeno- a aplicação da equação proposta ira 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 da equação proposta ira igualmente atribuir em IS relativamente pequeno, podendo tratar-se de casos (por exemplo testes de equipamento) com consequência graves para o fecho da empreitada.

Tarefas Desconectadas, ou seja, tarefas ou grupo de tarefas que por não terem influência nos trabalhos seguintes, podem causar atrasos significativos na obra no prazo final, pela não conclusão da respetiva área. Evidencia-se no NTSc.

No que diz respeito ao parâmetro *Ocorrência*, no início da avaliação assumiu-se que este seria considerado como um parâmetro de confiança e, como foi possível observar, a metodologia apresentou resultados positivos. No entanto, é de conhecimento que, apesar de ter sido possível obter resultados satisfatórios, este parâmetro necessita de ser corrigido, devido ao erro de escala que apresenta.

Em suma, a combinação dos inquéritos na avaliação da *Ocorrência*, com as propostas usadas na classificação da *Severidade* mostraram-se válidas, não obstante aos ajustes necessários.

5 CONCLUSÕES

A Gestão da Qualidade tem muito a acrescentar em várias indústrias. No entanto, é fácil compreender que quanto mais complexa e abrangente for a indústria em que é aplicada, mais difícil será de executar. Esses constituem os casos em que os resultados serão preponderantes. Isto porque, em indústrias como a engenharia civil, que engloba diversas especialidades e depende de várias outras indústrias, a aplicação da Gestão da Qualidade é essencial para garantir a excelência do produto final.

A melhoria da qualidade é aplicável através da análise de risco, uma excelente forma de implementação da Gestão da Qualidade na engenharia civil. No entanto, a análise do risco pode ser difícil execução, derivado do elevado consumo de recursos e tempo, contemplando, ainda, a incerteza associada à mesma.

Nesse contexto, a metodologia FMEA já se mostrou ser uma forma bem-sucedida de realizar análise de risco, permitindo a inclusão de várias variáveis. Por isso, é uma metodologia interessante a ser adotada, também, na fase primitiva do planejamento.

Com o objetivo de aplicar a metodologia FMEA para avaliação de risco na engenharia civil, nesta dissertação motivou o estudo da possibilidade de aplicação da metodologia para avaliação de não cumprimento de prazos em obras de construção.

Para tornar esse objetivo possível, é necessário ser capaz de quantificar o risco de forma segura, eficiente e objetiva, uma vez que a correta quantificação deste e a sua priorização constitui a base de aplicação da FMEA.

Dessa forma, nesta dissertação, explorou-se a aplicação de uma adaptação da metodologia FMEA visando uma boa avaliação de risco. Considerando a aplicação de parte da metodologia FMEA, verifica-se, através do método apresentado, que é possível priorizar o risco com sucesso.

Com o desenvolvimento deste projeto, foi possível validar que, ao aplicar as ferramentas de trabalhos anteriores em conjunto com as propostas aqui apresentadas, foram obtidos resultados bastante satisfatórios, capazes de sustentar a tese de objetivar as avaliações de risco, garantindo a eficiência do processo. Esta validação foi possível uma vez que as tarefas identificadas como de maior risco (ao nível do planejamento inicial, logo apenas como previsão), incluíam aquelas que, durante a efetiva execução das obras, tiveram maior impacto no cumprimento do prazo.

Assim, umas das maiores dificuldades da FMEA aplicada à obra é contornável. No entanto, o sucesso da gestão da qualidade na totalidade da obra não depende apenas da fase inicial, sendo necessário aliar outras ferramentas de implementação de melhoria contínua no desenvolvimento de toda a obra, como a Garcia, Garcia S.A. já realiza.

A aplicação de melhoria contínua em todas as fases de um projeto é crucial para garantir que o projeto esteja sempre em evolução. Cada fase do projeto apresenta novos desafios e oportunidades de aperfeiçoamento, sendo, por isso, importante avaliar e aprimorar continuamente os processos e procedimentos do projeto. A concentração em uma única fase do projeto pode resultar em oportunidades perdidas de melhoria, prejudicando o sucesso integral do projeto. Ao aplicar a melhoria contínua em todas as fases de um projeto, as empresas podem identificar e resolver problemas precocemente, reduzindo o risco de atrasos ou aumento de custos, e, por fim, melhorar a qualidade do produto final. Além disso, aplicar a melhoria contínua ao longo do projeto pode impulsionar uma cultura de inovação e criatividade, pois os funcionários são incentivados a contribuir com suas ideias e perspectivas para melhorias.

O desenvolvimento deste trabalho provou a eficiência da aplicação da metodologia FMEA para a avaliação do risco de incumprimento de prazos de empreitada, sendo de grande interesse, como trabalhos futuros, tornar a avaliação realizada mais intuitiva e eficiente, podendo recorrer a softwares mais recentes da indústria e a outras metodologias de análise.

Também se propõe a verificação da aplicabilidade da análise de risco, no decorrer de toda obra de forma a se averiguar a metodologia FMEA aqui defendida, como ferramenta de melhoria contínua.

Por último, é feita a proposta de melhoria do inquérito, de forma a corrigir a escala do mesmo, tornando necessário estudos, para comprovar a sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Dziadosz and M. Rejment, "Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods," in *Procedia Engineering*, 2015, vol. 122, pp. 258–265. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.034.
- [2] "Garcia, Garcia S.A." <https://www.garcia.pt/pt/> (accessed Jan. 14, 2023).
- [3] Comité Européu de Normalização, "NP EN ISO 9001:2015," 2015. [Online]. Available: www.iso.org/iso/foreword.html.
- [4] M. Rodrigues and J. Moreira Da Costa, "Análise de Risco Em Projetos de Construção," 2009. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [5] K. Slattery and N. Bodapati, "Risk Management of Construction-A Graduate Course Risk Management of Construction-A Graduate Course."
- [6] M. Rohit, N. Holkar, and M. Smita Pataskar, "Quality Management In Construction Industry By Using Building Information Modelling (BIM)," 2021.
- [7] Instituto Português da Qualidade, "NP ISO 31000:2018 - Gestão do Risco," 2012. [Online]. Available: www.ipq.pt
- [8] P.-F. C. José Carlos, J. M. Costa Fachana Moreida, and M. M. Jorge José, "A Análise De Risco Em Investimentos Do Tipo De Parcerias Público-Privadas," 2015. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [9] International Electrotechnical Commission, International Electrotechnical Commission. Technical Committee 56., and International Organization for Septuagint and Cognate Studies. Congress., *IEC 31010: Risk management-risk assessment techniques*. 2019.
- [10] Product Quality Research Institute, "Hazard & Operability Analysis (HAZOP)."
- [11] IEC 61882, *Hazard and operability studies (HAZOP studies)-Application guide*. 2016.
- [12] IEC 61025, *Analyse par arbre de panne (AAP) - Fault Tree analysis (FTA)*. International Electrotechnical Commission, 2006.
- [13] SPI, "Diagrama de Causa-Efeito," 1999. https://spi.pt/documents/books/inovint/iq/conteudo_integral/acesso_conteudo_integral/capitulo2_texto/capitulo2_2_texto/capitulo2_2_3_texto/acc2_2_3_texto_sel.htm (accessed Dec. 27, 2022).
- [14] "Autodesk." <https://construction.autodesk.com/products/autodesk-build/> (accessed Sep. 16, 2023).
- [15] J. Moreira and D. A. Costa, "Análise de Risco em Projetos de Construção," 2021.
- [16] A. F. Correia G. and J. Moreira Da Costa, "Análise De Risco Com Recurso À FMEA," 2016. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [17] S. Raposo Costa Silva, M. Fonseca, and J. Brito, "Metodologia FMEA e Sua Aplicação À Construção De Edifícios," 2006.
- [18] A. Bureau of Shipping, "Guidance Notes On Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) for Classification," 2015. [Online]. Available: www.eagle.org

- [19] J. M. Moreira da Costa, "Apontamentos Qualidade na Construção," 2020. https://sigarra.up.pt/feup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=455307 (accessed Oct. 22, 2020).
- [20] S. A. Assaf and S. Al-Hejji, "Causes of delay in large construction projects," *International Journal of Project Management*, vol. 24, no. 4, pp. 349–357, May 2006, doi: 10.1016/j.ijproman.2005.11.010.
- [21] Y. Rahsid, S. ul Haq, and M. S. Aslam, "Causes of Delay in Construction Projects of Punjab-Pakistan: An Empirical Study," *J. Basic. Appl. Sci. Res*, vol. 3, no. 10, pp. 87–96, 2013, [Online]. Available: www.textroad.com