



**isec**  
**Engenharia**

DEFINITIVO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

## **Gestão de Projetos de Parques Eólicos**

Autor

**Fábio José Barros Teixeira**

Orientador

**Gilberto Cordeiro Vaz**

Coimbra, agosto de 2020

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA





**isec**  
**Engenharia**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

## **Gestão de Projetos de Parques Eólicos**

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica  
Especialização em Construção e Manutenção de  
Equipamentos Mecânicos

Autor

**Fábio José Barros Teixeira**

Orientador

**Gilberto Cordeiro Vaz**

Supervisor na empresa Enercon

**Nuno Fernandes**

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, agosto de 2020

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, quero agradecer aos meus pais, que nunca me deixaram faltar nada ao longo da minha vida e pelo seu apoio incondicional em todas as minhas decisões.

Agradeço a toda a equipa Enercon, pelo apoio, paciência e disponibilidade de ensinar, que tiveram comigo. Em especial, um agradecimento ao Engenheiro Nuno Fernandes, que me orientou e fez com que o estágio fluísse o melhor possível, mesmo enfrentando as adversidades que se viveram durante o estágio.

Agradeço também ao Professor Doutor Engenheiro Gilberto Vaz, pelo acompanhamento, confiança e compreensão ao longo de todo o percurso de estágio e académico.

## RESUMO

O presente relatório tem como propósito apresentar o Estágio Curricular desenvolvido na ENERCON GmbH- Sucursal em Portugal, com o objetivo de se obter o Grau Mestre em Engenharia Mecânica – Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos, pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

O estágio realizado centrou-se no departamento Gestão de Projeto e Logística da Enercon, de forma a dar a conhecer ao estagiário as teorias e as boas práticas na Gestão de Projeto de Parques Eólicos, bem como todo o processo, desde a fabricação dos componentes, planeamento de obra, logística dos componentes, montagem dos aerogeradores, construção do parque e entrega final aos clientes.

Durante este estágio foi possível acompanhar vários projetos de parques eólicos, nas suas diferentes fases de construção. Este acompanhamento foi realizado através da participação regular nas discussões e reuniões de planeamento preditivo e corretivo, fornecimento de apoio técnico, relativamente às instruções de montagem e acompanhamento diário do surgimento e resolução de não conformidades, durante e após a montagem dos aerogeradores. Por último e com o objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos, foi elaborado um exemplo de um planeamento detalhado da construção de um parque eólico.

**Palavras-Chave:** Enercon, Gestão de Projeto, Gestão de Projeto de Parques Eólicos

## **ABSTRACT**

The purpose of this report is to present the Curricular Internship developed at ENERCON GmbH- Branch in Portugal, with the objective of obtaining the master's degree in mechanical engineering, by the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

The internship focused on Enercon's Project Management and Logistics department, in order to let the trainee know the theories and good practices in Project Management for Wind Farms, as well as the entire process, from the manufacture of the components, work planning, component logistics, assembly of wind turbines, construction of the park and final delivery to customers.

During this internship it was possible to follow several wind farms projects, in their different construction phases. This monitoring was carried out through regular participation in discussions and meetings of predictive and corrective project planning, providing technical support, regarding the assembly instructions and daily monitoring of the appearance and resolution of non-conformities, during and after the assembly of the wind turbines. In the end and in order to apply the knowledge acquired, it was prepared an example of a detailed planning of the construction of a wind farm.

**Keywords:** Enercon, Project Management, Wind Farm Project Management

## Índice Geral

|                |     |
|----------------|-----|
| RESUMO .....   | iii |
| ABSTRACT ..... | iv  |

### Capítulo 1 - Introdução

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1.1 Enquadramento do Tema .....    | 1 |
| 1.2 Principais Objetivos.....      | 1 |
| 1.3 Organização do Relatório ..... | 1 |

### Capítulo 2 - Caracterização do Estágio

|                                                             |   |
|-------------------------------------------------------------|---|
| 2.1 Apresentação do Grupo ENERCON.....                      | 2 |
| 2.2 Apresentação do Departamento de Gestão de Projeto ..... | 3 |
| 2.3 Apresentação das máquinas ENERCON .....                 | 4 |
| 2.4 Resumo Das Atividades Desenvolvidas .....               | 4 |

### Capítulo 3- Energia Eólica

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.1 Vento e Energia Eólica .....                  | 6  |
| 3.1.1 Potencial Eólico de Portugal.....           | 6  |
| 3.1.2 Política Energética Para Portugal.....      | 7  |
| 3.1.3 Política Energética na União Europeia ..... | 8  |
| 3.2 Composição de um Aerogerador .....            | 9  |
| 3.2.1 Conjunto de Pás e <i>Hub</i> .....          | 10 |
| 3.2.2 <i>Nacelle</i> .....                        | 11 |
| 3.2.3 Torre .....                                 | 12 |
| 3.2.4 Tecnologia dos Geradores .....              | 12 |
| 3.3 Parque Eólico.....                            | 13 |

### Capítulo 4- Gestão de Projeto

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 4.1 Introdução .....                 | 14 |
| 4.2 Teoria da Gestão de Projeto..... | 14 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1 Definição de Projeto .....                                   | 14 |
| 4.2.2 Ciclo de Vida de Um Projeto .....                            | 14 |
| 4.2.3 Apresentação do PM Institute .....                           | 15 |
| 4.2.4 Apresentação do PMBOK .....                                  | 16 |
| 4.2.5 Conceito de Gestão de Projeto .....                          | 16 |
| 4.2.6 Composição de uma Equipa de Projeto .....                    | 17 |
| 4.2.7 Stakeholders de um Projeto .....                             | 17 |
| 4.2.8 <i>Scope of Supply</i> de um Projeto .....                   | 18 |
| 4.2.9 Importância das <i>Kick-off-Meetings</i> .....               | 18 |
| 4.3 Diferença entre Sucesso da Gestão de Projeto e do Projeto..... | 18 |
| 4.4 O Triângulo das Restrições.....                                | 19 |
| 4.5 Gestão de Risco.....                                           | 19 |
| 4.5.1 Definição do Projeto.....                                    | 20 |
| 4.5.2 Planeamento da Gestão de Risco .....                         | 21 |
| 4.5.3 Identificação Dos Riscos .....                               | 22 |
| 4.5.4 Avaliação dos Riscos.....                                    | 23 |
| 4.5.4.1 Avaliação de Risco de Forma Qualitativa .....              | 23 |
| 4.5.4.2 Avaliação de Risco de Forma Quantitativa .....             | 24 |
| 4.5.5 Plano de Resposta aos Riscos .....                           | 25 |
| 4.5.6 Monitorização e Controlo do Risco .....                      | 25 |
| 4.6 Gestão de Custo de Um Projeto .....                            | 26 |
| 4.6.1 Planeamento da Gestão de Custo.....                          | 26 |
| 4.6.2 Estimativa dos Custos.....                                   | 27 |
| 4.6.3 Determinar o Orçamento .....                                 | 28 |
| 4.6.4 Controlo de Custo.....                                       | 28 |
| 4.7 Gestão da Qualidade .....                                      | 30 |
| 4.7.1 Planeamento da Gestão da Qualidade.....                      | 31 |
| 4.7.2 Gerir a Qualidade.....                                       | 32 |
| 4.7.3 Controlo da Qualidade.....                                   | 33 |
| 4.8 Gestão de Tempo .....                                          | 33 |
| 4.8.1 Planeamento Da Gestão do Cronograma .....                    | 34 |
| 4.8.2 Definição de Atividades .....                                | 35 |
| 4.8.3 Sequência de Atividades.....                                 | 35 |
| 4.8.4 Estimativa de recursos das atividades.....                   | 36 |
| 4.8.5 Estimativa da duração das atividades .....                   | 37 |
| 4.8.6 Desenvolvimento do Cronograma .....                          | 38 |
| 4.8.7 Controlo do Cronograma .....                                 | 39 |

## Capítulo 5 - Gestão de Projeto de Parques Eólicos

|         |                                                  |    |
|---------|--------------------------------------------------|----|
| 5.1     | Introdução .....                                 | 39 |
| 5.2     | Gestão de Projeto de Parques Eólicos .....       | 39 |
| 5.2.1   | Fase de Iniciação do Projeto .....               | 40 |
| 5.2.1.1 | Planeamento Preliminar .....                     | 40 |
| 5.2.1.2 | Criação do contrato .....                        | 41 |
| 5.2.2   | Fase de Planeamento do Projeto .....             | 41 |
| 5.3     | Fase de Implementação e Controlo do Projeto..... | 42 |
| 5.4     | Encerramento do Projeto.....                     | 43 |

## Capítulo 6 - Exemplo de Planeamento de Construção de Um Parque Eólico

|           |                                           |    |
|-----------|-------------------------------------------|----|
| 6.1       | Introdução ao Exercício .....             | 43 |
| 6.1.1     | Definição do <i>Scope Of Supply</i> ..... | 44 |
| 6.1.2     | Descrição Geral do Parque .....           | 44 |
| 6.2       | Planeamento .....                         | 46 |
| 6.2.1     | Verificar o pedido .....                  | 46 |
| 6.2.2     | Especificidades do Projeto.....           | 46 |
| 6.2.2.1   | Escolha do Local .....                    | 46 |
| 6.2.2.1.1 | Estudo dos Ventos .....                   | 46 |
| 6.2.2.2   | Análise de Condicionantes .....           | 49 |
| 6.2.2.2.1 | Estudo de Impacto Ambiental.....          | 49 |
| 6.2.2.2.2 | Estudo de Impacto Sonoro .....            | 50 |
| 6.2.2.2.3 | Efeito Sombra .....                       | 51 |
| 6.2.2.2.4 | Efeito Esteira.....                       | 52 |
| 6.2.3     | Definição do <i>Layout</i> .....          | 54 |
| 6.2.3.1   | Seleção Do Aerogerador .....              | 54 |
| 6.2.3.2   | Definição do Layout em 2D .....           | 55 |
| 6.2.3.3   | Definição do Layout em 3D .....           | 56 |
| 6.2.4     | Especificidade de Obra .....              | 58 |
| 6.2.4.1   | Construção Civil.....                     | 58 |
| 6.2.4.2   | Fundações.....                            | 58 |
| 6.2.4.3   | Acessos e Plataformas .....               | 61 |

|           |                                                                |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.4.4   | Vala de Cabos .....                                            | 62 |
| 6.2.4.5   | Subestação E Edifício de Comando .....                         | 63 |
| 6.2.5     | Transporte, Montagem E Comissionamento Dos Aerogeradores ..... | 64 |
| 6.2.5.1   | Transporte .....                                               | 64 |
| 6.2.5.2   | Montagem .....                                                 | 68 |
| 6.2.5.2.1 | Seleção De Equipamentos Necessários à Montagem.....            | 68 |
| 6.2.5.2.2 | Montagem Mecânica e Elétrica.....                              | 70 |
| 6.2.5.3   | Comissionamento .....                                          | 72 |
| 6.2.6     | Elaboração De Um Cronograma .....                              | 72 |
| 6.2.6.1   | Identificação Das Tarefas e Marcos Importantes .....           | 73 |
| 6.2.6.2   | Duração Das Tarefas .....                                      | 73 |
| 6.2.6.3   | Diagrama de <i>Gantt</i> .....                                 | 74 |
| 6.2.7     | Análise de Risco .....                                         | 77 |
| 6.2.7.1   | Planeamento da Gestão de Risco.....                            | 77 |
| 6.2.7.2   | Identificação Dos Riscos .....                                 | 78 |
| 6.2.7.3   | Análise Qualitativa .....                                      | 79 |
| 6.2.7.4   | Análise Quantitativa .....                                     | 80 |
| 6.2.7.5   | Plano de Resposta ao Risco .....                               | 81 |
| 6.2.8     | Orçamento Pré Contratual .....                                 | 85 |
| 6.2.8.1   | Orçamento Para a Construção do Parque Eólico do Arnal.....     | 87 |
| 6.2.9     | Análise de Investimento .....                                  | 88 |
| 6.2.9.1   | Custos de Operação e Manutenção.....                           | 88 |
| 6.2.9.2   | Lucro de Um Parque Eólico .....                                | 90 |
| 6.2.9.3   | Retorno do investimento .....                                  | 91 |
| 6.2.9.4   | <i>Levelized Cost of Energy</i> .....                          | 92 |
| 6.3       | Conclusão do Exercício do Parque Eólico do Arnal .....         | 93 |

## Capítulo 7 - Considerações Finais

|   |                            |    |
|---|----------------------------|----|
| 7 | Considerações Finais ..... | 94 |
|---|----------------------------|----|

## Capítulo 8 - Referências Bibliográficas

|   |                                 |    |
|---|---------------------------------|----|
| 8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 96 |
|---|---------------------------------|----|

## Índice De Figuras

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-Organograma do Departamento PLM da Enercon.....                                       | x  |
| Figura 2- Catálogo de aerogeradores Enercon.....                                               | 4  |
| Figura 3- Atlas Português do vento (offshore) .....                                            | 7  |
| Figura 4- Atlas Português do vento (Onshore).....                                              | 7  |
| Figura 5- Primeiro aerogerador do Parque WindFloat Atlantic (EDP, 2019).....                   | 8  |
| Figura 6- Previsão de instalação offshore até 2050 (Wind Europe, 2020) .....                   | 9  |
| Figura 7- composição primária de um aerogerador Enercon .....                                  | 10 |
| Figura 8- Composição geral de um aerogerador.....                                              | 10 |
| Figura 9- Pá de um aerogerador Enercon .....                                                   | 11 |
| Figura 10- Hub de um aerogerador Enercon .....                                                 | 11 |
| Figura 11-Composição da Nacelle Enercon, (Enercon, 2020) .....                                 | 12 |
| Figura 12- Conjunto gerador Enercon (Stator e Rotor) .....                                     | 13 |
| Figura 13- Organização de um parque eólico (Arvha, 2019) .....                                 | 13 |
| Figura 14- Ciclo de vida de um projeto, adaptado de (Project Management Institute, 2013) ..... | 15 |
| Figura 15- Triângulo das restrições .....                                                      | 19 |
| Figura 16- Sequência da gestão de risco.....                                                   | 21 |
| Figura 17- Sequência da gestão de custo .....                                                  | 26 |
| Figura 18 - Composição do Budget (Project Management Institute, 2013) .....                    | 28 |
| Figura 19- Sequência da gestão de qualidade (Project Management Institute, 2013) .....         | 30 |
| Figura 20 - Sequência da gestão de tempo ( (Project Management Institute, 2013).....           | 34 |
| Figura 21- Velocidade média do vento a 20 metros de altura .....                               | 47 |
| Figura 22- Velocidade média do vento a 80 metros de altura .....                               | 48 |
| Figura 23 - Produção eólica equivalente à potência nominal .....                               | 48 |
| Figura 24 - Projeção máxima da sombra do aerogerador mais próximo da população .....           | 52 |
| Figura 25- Configuração da Dispersão dos aerogeradores .....                                   | 53 |
| Figura 26- Efeito de esteira no mar do norte (The Civil Engineer, 2020) .....                  | 53 |
| Figura 27- Desenho do Layout em 2D .....                                                       | 56 |
| Figura 28- Imagem do Layout em 3D- Vista Norte-Sul.....                                        | 57 |
| Figura 29- Imagem do Layout em 3D - Vista Sul-Norte.....                                       | 57 |
| Figura 30- Desenho dimensional da fundação do Aerogerador E-92, (Enercon) .....                | 58 |
| Figura 31- Betonagem de Fundação de um aerogerador .....                                       | 59 |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 32 - Dimensão dos acessos internos ao parque, (Enercon).....                                   | 61 |
| Figura 33- Dimensões dos acessos necessários ao transporte, (Enercon).....                            | 61 |
| Figura 34 - Desenho dimensional da plataforma recomendada, (Enercon) .....                            | 62 |
| Figura 35-Desenho dimensional das duas configurações da Vala de cabos de média tensão, (Enercon)..... | 63 |
| Figura 36 - Estruturas elétricas de uma subestação, (HNV Engineering, 2020).....                      | 64 |
| Figura 37- Segmentação do Aerogerador E-92, (Enercon) .....                                           | 65 |
| Figura 38 - Percurso a ser realizado pelo transporte.....                                             | 66 |
| Figura 39- Quarta ponte N304.....                                                                     | 67 |
| Figura 40- Primeira ponte N304.....                                                                   | 67 |
| Figura 41- Transporte especial com reboque extensível (LASO, 2020).....                               | 68 |
| Figura 42- Etapa final após a verticalização.....                                                     | 71 |
| Figura 43- Etapas de verticalização das secções de torre .....                                        | 71 |
| Figura 44- Subida do conjunto hub e pás .....                                                         | 72 |
| Figura 45- Subida do gerador .....                                                                    | 72 |

## Índice Tabelas

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1-Composição De Uma Equipa De Projeto .....                               | 17 |
| Tabela 2- Matriz Impacto/Probabilidade .....                                     | 21 |
| Tabela 3- Resposta ao Risco.....                                                 | 21 |
| Tabela 4- Matriz Qualitativa de Análise de Ameaças e Oportunidades .....         | 23 |
| Tabela 5- Indicadores Básicos de Desempenho .....                                | 30 |
| Tabela 6- Fases Na Construção de Um Parque Eólico .....                          | 40 |
| Tabela 6 - Planeamento De Betonagem.....                                         | 60 |
| Tabela 7- Dimensões e Pesos Das Secções a Transportar .....                      | 65 |
| Tabela 8 - Tabela de Cargas Máximas Referentes à Altura e Raios de Trabalho..... | 69 |
| Tabela 9- Tabela De Tarefas e Tempos Estimados Para Cada Tarefa .....            | 74 |
| Tabela 10 - Matriz Qualitativa Do Risco.....                                     | 77 |
| Tabela 11 - Matriz Quantitativa Do Risco.....                                    | 78 |
| Tabela 12- Tabela De Identificação Dos Riscos.....                               | 79 |
| Tabela 13 - Avaliação Quantitativa Do Risco .....                                | 80 |
| Tabela 14 - Avaliação Quantitativa Do Risco .....                                | 81 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 15 - Plano De Resposta ao Risco .....                                            | 85 |
| Tabela 16 - Preço Estimado por cada MW de Potência Instalada .....                      | 87 |
| Tabela 17- Custo Distribuído Do Parque Eólico Do Arnal .....                            | 88 |
| Tabela 18- Custo Anual de Operação e Manutenção Por Cada MW de Potência Instalada ..... | 89 |
| Tabela 19- Custo Anual de Operação e Manutenção Do Parque Eólico do Arnal .....         | 89 |

## Índice de Gráficos

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1- Curva de Potência Do Aerogerador E-92.....                      | 54 |
| Gráfico 2- Gráfico De Seleção Da Grua Principal .....                      | 70 |
| Gráfico 3 - Cronograma Para a Construção Do Primeiro Aerogerador .....     | 76 |
| Gráfico 4 - Evolução Do Orçamento ao Longo Da Fase Contratual .....        | 86 |
| Gráfico 5 - Intervalos de LCOE Para Diferentes Tecnologias de Geração..... | 93 |

## Índice de Equações

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Equação 1- Risco.....                     | 20 |
| Equação 2- EMV .....                      | 24 |
| Equação 3- Orçamento Pré Contratual ..... | 85 |
| Equação 4- Orçamento Pós Contratual.....  | 85 |
| Equação 5- Estimation at Completion ..... | 86 |
| Equação 6- Lucro Anual.....               | 90 |
| Equação 7- Custo Anual Equivalente .....  | 91 |
| Equação 8- Anuidade .....                 | 91 |
| Equação 9- Retorno do Investimento .....  | 91 |
| Equação 10- LCOE.....                     | 92 |

## Abreviaturas e Símbolos

APREN- Associação Portuguesa de Energias Renováveis

CAPEX- *Capital Expenditure*

Cp- Coeficiente de Potência

Ct- *Thrust Coefficient*

EAC- *Estimation at completion*

KW- Kilowatts

LCOE- *Levelized cost of energy*

LNEG- Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MW- Megawatts

OPEX- *Operational Expenditure*

PLM- *Project and Logistic Management*

PMI- *Project Management Institute*

SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento do Tema**

O presente estágio enquadra-se na gestão de projeto de parques eólicos, utilizando ferramentas da gestão, para a elaboração de um projeto com qualidade, dentro do tempo estipulado, dentro do orçamento viável e com cumprimento de objetivos.

Os Engenheiros são, por natureza, Gestores e ao gerirem projetos, estão de certa forma a gerir pessoas. Independentemente do setor de atividade, uma boa Gestão de Projeto é cada vez mais importante para a competitividade das empresas, uma vez que, num mercado global e no mundo financeiro, a frieza dos números assim o exige.

Devido à crescente importância da Gestão de Projeto, o estágio enquadra-se neste contexto.

### **1.2 Principais Objetivos**

Os objetivos principais e as expectativas iniciais do estágio curricular, consistiam em desenvolver e acompanhar um conjunto de determinadas tarefas com vista a uma boa integração na equipa de Gestão de Projeto da Enercon. Estabeleceram-se então os seguintes objetivos:

- Obtenção de conhecimentos de Gestão de Projeto de parques eólicos;
- Conhecimento do modo de operação da empresa de acolhimento;
- Acompanhamento de projetos, em todas as fases do seu ciclo de vida;
- Aquisição da capacidade de elaboração de análise de riscos;
- Aquisição da capacidade de planeamento e elaboração de cronogramas de projeto;
- Obtenção de conhecimentos nas ferramentas utilizadas pela empresa.

### **1.3 Organização do Relatório**

O presente relatório está dividido em sete capítulos. Tendo esta estrutura a intenção de introduzir o leitor nas teorias de gestão de projeto para posterior compreensão do trabalho e conhecimentos adquiridos ao longo do estágio, que serão refletidos num exemplo aplicativo dos mesmos.

No capítulo 1, Introdução, é realizada uma introdução ao relatório de estágio, onde é mencionado o contexto do mesmo, assim como uma descrição da entidade de acolhimento e objetivos do estágio.

O capítulo 2, Caracterização do Estágio, visa apresentar a história da Enercon, dar a conhecer a organização do departamento onde se realizou o estágio e descrever as atividades realizadas durante o estágio.

No capítulo 3, Energia Eólica, ilustra-se o estado do setor eólico em Portugal e na Europa, descrevendo as políticas que serão tomadas nos próximos anos. Ainda neste capítulo é descrita a composição de um aerogerador.

O capítulo 4, Gestão de Projeto, tenta descrever a teoria de Gestão de Projeto, de uma forma muito resumida e simplista, para que seja possível compreender os conceitos base, que são fundamentais para a compreensão do processo de Gestão implementado na empresa.

O capítulo 5, Gestão de Projetos de Parques Eólicos, visa descrever o processo de gestão de projeto de parques eólicos, que é praticado pela empresa.

No capítulo 6, Exemplo de Planeamento de Construção de um Parque Eólico, apresenta-se um caso prático, isto é, uma simulação académica de um pedido de planeamento para um hipotético parque eólico, onde é demonstrada a aplicabilidade da teoria de Gestão de Projeto e também todos os conteúdos abordados durante o estágio curricular.

No capítulo 7, Conclusões, capítulo final, estão descritas as conclusões do estágio curricular e as conclusões deste relatório em particular.

## **2 Caracterização do Estágio**

### **2.1 Apresentação do Grupo ENERCON**

A Enercon é uma empresa Alemã, de produção, instalação e manutenção de aerogeradores e parques eólicos.

O seu primeiro aerogerador, de 55KW, foi construído em 1984, pelo Engenheiro Aloys Wobben, que criou a empresa, sediada em Aurich (Alemanha). Desde então, a Enercon começou a introduzir-se no mercado dos conversores de energia eólica de velocidade variável, oferecendo ao mercado várias soluções de capacidade.

Em 1991, fruto da determinação da Enercon no desenvolvimento e pesquisa, a empresa consegue dar um passo inovador no mercado e lança o primeiro conversor de energia eólica sem caixa de velocidades.

Em 1993, devido à elevada demanda e sucesso do sistema sem caixa de velocidades, nas máquinas E-40, com os benefícios inerentes em relação ao desempenho, fiabilidade e tempo de vida da máquina, a Enercon toma a decisão de desenvolver e fabricar, dentro de portas, todos os componentes do aerogerador, passando a partir desse ano, a fabricar o rotor, gerador, pás e os sistemas de ligação à rede.

A Enercon chegou a Portugal em 1996, com a assinatura dos dois primeiros contratos, que perfizeram de um total de quarenta máquinas E-40.

Seguidamente, em 1998 instala o primeiro escritório oficial em Amarante.

Em 2005 a Enercon já possuía 30% do mercado Português e é nesse ano que o estado Português lança a concurso a construção de 1200 MW em parques eólicos. É então que se cria um consórcio, denominado ENEOP3, que vence o concurso e é a partir dessa data que se inicia o projeto industrial para a fabricação das máquinas, a ser instaladas no mercado português, construindo-se assim, em Viana do Castelo, a fábrica de pás, torres de betão e a fábrica de Geradores e Mecatrónica, perfazendo um total de 233.927 m2 de área industrial.

Atualmente, no mercado português, a Enercon representa 53.9% da potência instalada e 12% de toda a energia consumida em Portugal, provêm de turbinas Enercon.

2.2 Apresentação do Departamento de Gestão de Projeto

Neste subcapítulo irá ser descrito o organograma organizacional do departamento de Gestão de Projeto que atualmente se encontra em operação na Península Ibérica. A figura (Erro! Autorreferência de marcador inválida.) esquematiza o organograma organizacional.

A estrutura organizacional pode sofrer alterações, dependendo do tamanho do projeto, podendo alguns cargos, acumular funções no caso de projetos mais pequenos.

A equipa possui três organizações padrão, que se ajustam para projetos pequenos, inferiores a 20MW, para projetos médios, compreendidos entes 20MW e 40MW e para projetos maiores, superiores a 40MW de instalação.

Cada membro da equipa possui um conjunto de tarefas, bem definidas e padronizadas, de forma a clarificar os deveres, as responsabilidades e as interações a executar a cada projeto.

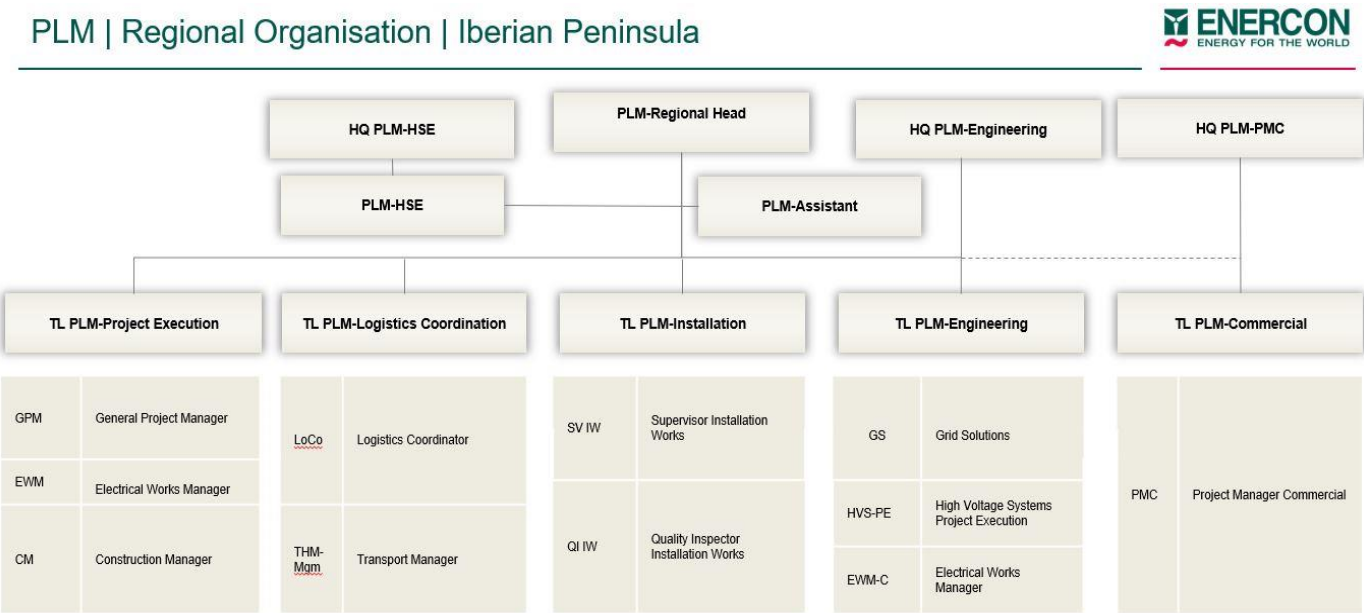


Figura 1-Organograma do Departamento PLM da Enercon

## 2.3 Apresentação das máquinas ENERCON

Como podemos ver no catálogo de produto, exposto na imagem (Figura 2), a empresa disponibiliza máquinas para várias aplicações.

Na primeira coluna está disposta a classe de potência em MW e na primeira linha temos a classe média de vento a que a máquina irá estar sujeita.

Este catálogo/tabela, permite assim um dimensionamento inicial, da máquina que mais se adequa ao parque eólico.

Categoriza-se vento forte (IEC I), quando o valor médio máximo de vento não ultrapassa os 10 m/s, a categoria para vento médio (IEC II), utiliza-se quando o valor médio máximo de vento, não ultrapassa os 8,5 m/s e vento fraco (IEC III), quando o valor médio máximo de vento, não excede os 7,5 m/s.

Existe ainda uma outra categoria denominada “IEC S”, a qual é utilizada para locais especiais ou projetos em que são necessárias misturas de configurações das categorias de vento, com o fim de customização e otimização da máquina ao local de instalação.

|     | IEC I (STRONG)                                                                                              | IEC II (MEDIUM)                                                                                                      | IEC III (LOW)                                                                                                |                                                                                          |                                                                                            |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| EP5 | <b>E-136 EP5</b><br>Nominal power: 4,650 kW<br>Rotor diameter: 136 m<br>Wind class IEC: IEC IA              | <b>E-147 EP5 E2</b><br>Nominal power: 5,300 kW<br>Rotor diameter: 147 m<br>Wind class IEC: IEC IA                    | <b>E-140 EP5</b><br>Nominal power: 4,200 kW<br>Rotor diameter: 140 m<br>Wind class IEC: IEC IA               |                                                                                          |                                                                                            |
| EP3 | <b>E-115 EP3</b><br>Nominal power: 2,990 kW / 4,200 kW<br>Rotor diameter: 115,7 m<br>Wind class IEC: IEC IA | <b>E-126 EP3</b><br>Nominal power: 3,000 kW / 3,500 kW / 4,200 kW<br>Rotor diameter: 127 m<br>Wind class IEC: IEC IA | <b>E-138 EP3</b><br>Nominal power: 3,500 kW / 4,200 kW<br>Rotor diameter: 138,25 m<br>Wind class IEC: IEC IA |                                                                                          |                                                                                            |
| EP2 | <b>E-70 E4</b><br>Nominal power: 2,300 kW<br>Rotor diameter: 71 m<br>Wind class IEC: IEC IA                 | <b>E-82 E4</b><br>Nominal power: 2,350 kW / 3,000 kW<br>Rotor diameter: 82 m<br>Wind class IEC: IEC IA               | <b>E-82 E2</b><br>Nominal power: 2,000 kW / 2,300 kW<br>Rotor diameter: 82 m<br>Wind class IEC: IEC IA       | <b>E-92</b><br>Nominal power: 2,350 kW<br>Rotor diameter: 92 m<br>Wind class IEC: IEC IA | <b>E-103</b><br>Nominal power: 2,350 kW<br>Rotor diameter: 103 m<br>Wind class IEC: IEC IA |
| EP1 | <b>E-44</b><br>Nominal power: 900 kW<br>Rotor diameter: 44 m<br>Wind class IEC: IEC IA                      | <b>E-48</b><br>Nominal power: 800 kW<br>Rotor diameter: 48 m<br>Wind class IEC: IEC IA                               | <b>E-53</b><br>Nominal power: 800 kW<br>Rotor diameter: 52,9 m<br>Wind class IEC: SA                         |                                                                                          |                                                                                            |

Figura 2- Catálogo de aerogeradores Enercon

## 2.4 Resumo das Atividades Desenvolvidas

Neste subcapítulo serão descritas as atividades realizadas na empresa de acolhimento, na qual decorreu o estágio curricular, no período de outubro até maio.

Nas primeiras semanas foi efetuada uma introdução à empresa, as suas normas de segurança e funcionamento.

Seguidamente foi efetuada uma introdução aos conceitos de Gestão de Projeto e feita uma orientação ao tema de estágio.

Após a definição do tema de estágio, seguiu-se uma introdução à gestão de risco, à gestão de tempo, gestão de qualidade e gestão de custo.

Em seguida foi efetuada uma introdução ao programa *MS Project*, onde é possível construir, alterar e acompanhar um cronograma de um projeto, sendo realizados vários exemplos teóricos e práticos.

Posteriormente, foi efetuado o acompanhamento de dois projetos em simultâneo, um em Portugal na fase de iniciação e um projeto em Espanha na fase de construção, sendo que este último não pôde ser presencial, devido a limitações contratuais de seguros.

Ainda antes do fim do ano de 2019, foi efetuada uma visita à fábrica das pás em Viana do Castelo e foi dado a conhecer o Departamento de Logística.

Após a interrupção das festividades natalícias, foi efetuado um acompanhamento de um projeto na Grécia em fase de finalização e introduzido numa iniciação de planeamento para um projeto nas Canárias, no qual foi realizado e discutido o cronograma do projeto.

Logo após este planeamento foi iniciado o estudo para o exercício infra apresentado no capítulo 6.

Neste estágio, e com o intuito de o tornar um pouco mais prático, foi também efetuado um estudo das instruções de montagem dos aerogeradores, que permitiu fornecer apoio técnico para a avaliação de risco de um projeto na Suécia e outro na Irlanda Do Norte.

Após o apoio técnico, foram realizadas duas formações, uma de *grouting* e outra de colagem de secções de betão.

Seguiu-se uma formação na ferramenta de gestão utilizada pela empresa.

Seguidamente à formação na ferramenta de gestão, auxiliou-se a equipa, no processo de acompanhamento da resolução de não conformidades e passagem do ativo para a equipa de serviços, para a realização do comissionamento.

Após o auxílio na realização de algumas tarefas, deu-se a transferência para o teletrabalho, devido ao início da pandemia de COVID-19.

Já no regime de teletrabalho, assistiu-se a uma formação de inspetores de qualidade que teve a duração de uma semana, fez-se o seguimento dos projetos nas Canárias e em Itália, participando em reuniões regulares, sendo que, no projeto nas Canárias, foi acompanhando através dos relatórios diários das equipas, presentes nos locais de construção, sendo também realizado um seguimento da evolução das não conformidades e auxílio na passagem para dos aerogeradores da equipa de montagem para a equipa de comissionamento.

## 3 Energia Eólica

### 3.1 Vento e Energia Eólica

O vento é um fenómeno causado por diferenças de pressão. Estas ocorrem devido à radiação emitida pelo sol, que é recebida pela Terra de forma desproporcionada, uma vez que radiação solar tem maior incidência nas zonas equatoriais, comparativamente as zonas polares. De uma forma sucinta, constata-se então que a origem do vento é a radiação solar.

A conversão de energia cinética relacionada com o deslocamento de massas de ar, em energia mecânica rotacional, faz parte e impulsionou a evolução da Humanidade. Os primeiros vestígios que provam a utilização deste elemento remontam a 1000 a.C. Um dos exemplos de evolução, graças ao aproveitamento do vento é a origem da Holanda que, desde o século XVII ao século XIX, usou moinhos de vento para a drenagem de terras cobertas de água, sendo este acontecimento, uma prova de extrema importância deste aproveitamento para a evolução humana.

Atualmente, fruto da demanda por energia limpa, uma aplicação que tem vindo a ganhar importância é o aproveitamento da energia eólica para produção de energia elétrica. O grande desenvolvimento neste setor ocorreu em 1980, quando se iniciou a produção de pequenas turbinas, maioritariamente para uso agrícola, sendo estas a base para tudo o que hoje é produzido.

Na atualidade é inquestionável a importância desta tecnologia, quer a nível ambiental, mas também a nível económico, pois em 2018, segundo a (APREN, 2020), 22% da produção de energia elétrica em Portugal, traduzindo em números absolutos, 12,5 TWh, proveio de energia eólica. No entanto, este contributo é largamente insuficiente para o objetivo da independência energética, sendo que em 2018 o indicador de dependência energética ficou nos 76,2%. O aumento da produção elétrica de origem renovável permitiu a redução da dependência energética do País, na primeira década do século XXI, contribuindo para a diminuição da taxa de dependência em cerca de 10% durante este período. Contudo, a presente década é marcada por uma tendência de estagnação deste indicador.

#### 3.1.1 Potencial Eólico de Portugal

Em Portugal, instituições como o LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), contribuem para a medição sistemática da velocidade do vento, tendo já contribuído para a realização de um “Atlas Português do Vento”, tanto em terra (*onshore*) como no mar (*offshore*), como ilustra a Figura 4 e a.Figura 3.

Como é perceptível na figura (Figura 4), as maiores velocidades médias anuais encontram-se junto ao litoral oeste e em certas regiões do interior norte. De notar também, que o recurso eólico *offshore* é abundante, isto é, possui médias anuais entre 6,5 m/s e 7,5 m/s, para uma localização relativamente próxima da costa.

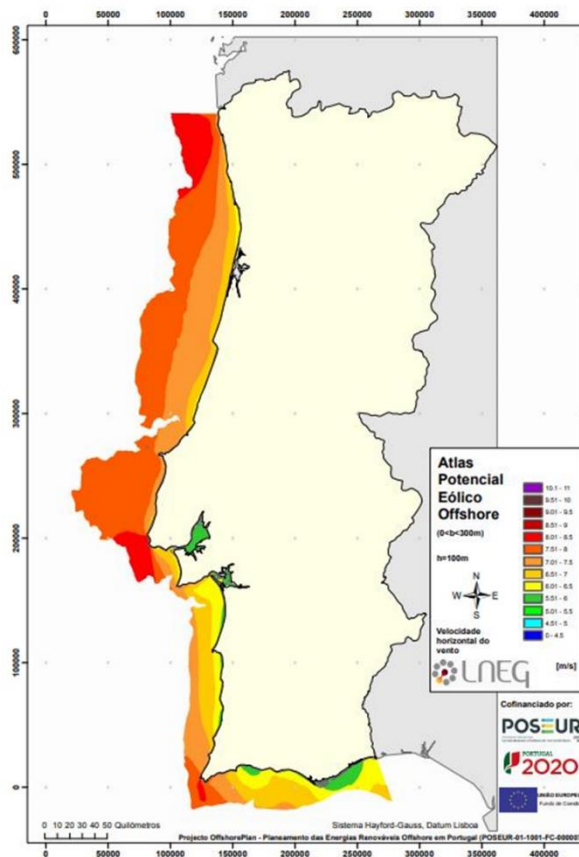


Figura 4- Atlas Português do vento (offshore)

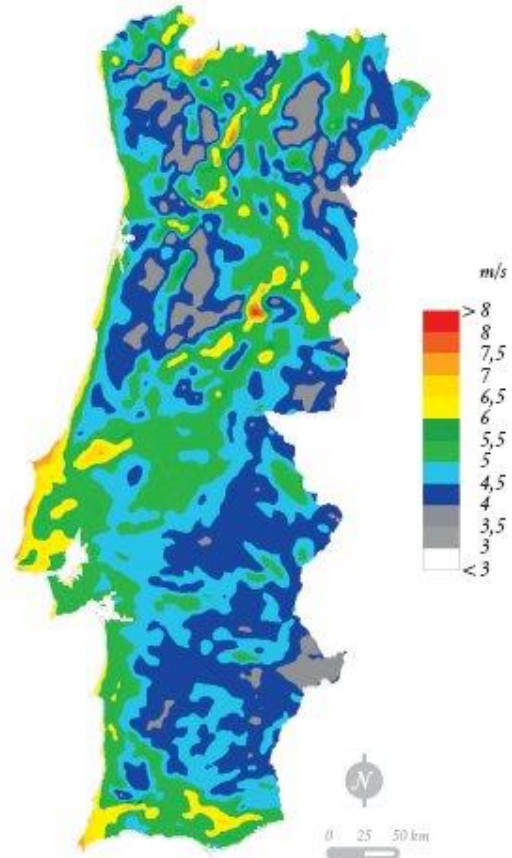


Figura 3- Atlas Português do vento (Onshore)

### 3.1.2 Política Energética Para Portugal

Segundo o Plano Nacional Energia-Clima 2030, as metas ambientais para 2030, de modo a poder cumprir as metas de neutralidade carbónica em 2050, definem uma redução das emissões em 85% a 90%, comparativamente aos níveis de 2005.

Para tal, e em linha com os objetivos da União Europeia, foram definidas as seguintes metas energéticas e ambientais para Portugal para 2030:

- A redução da emissão de gases com efeito de estufa entre 45% e 55% face aos valores de 2005.
- Reforçar a aposta nas energias renováveis, garantindo uma contribuição de 47% para o consumo final bruto de energia, reduzindo assim a dependência energética do país;

- Fomentar o aumento da produção eólica, designadamente através do Sobre equipamento e do *Repowering*;
- Promover projetos piloto de energias renováveis em fase de demonstração e pouco disseminadas;
- Otimizar e simplificar o processo de licenciamento associado a centros electroprodutores renováveis;
- Fomentar a produção de energia eólica *offshore*;

As previsões de (Wind Europe, 2020), apontam para que Portugal, em 2050, tenha 9 GW de capacidade instalada no mar (*offshore*), sendo que, no momento de escrita deste relatório, está a ser montado o primeiro parque eólico em águas Portuguesas, o *Windfloat Atlantic*, da EDP, que terá uma capacidade de produção de 25 MW. A imagem (Figura 5) mostra a primeira máquina do parque *Windfloat Atlantic* a ser instalada.



**Figura 5- Primeiro aerogerador do Parque *WindFloat Atlantic* (EDP, 2019)**

### **3.1.3 Política Energética na União Europeia**

A UE começou já a preparar o período pós 2020, com o intuito de preparar os investidores para o futuro regime. As energias renováveis são fundamentais para a estratégia da comissão Europeia nas metas para a neutralização carbónica em 2050. Para que tal seja possível, o setor de energia é orientado para uma quota de energias renováveis neste setor de 30%. No entanto prevê-se uma diminuição do crescimento das energias renováveis a partir de 2020, se não houver uma nova intervenção.

No que toca a construção eólica no mar (*offshore*), segundo (Silva, 2019), a união Europeia traça as seguintes metas para cumprir o objetivo de descarbonizar a energia e atingir a neutralidade carbónica até 2050. O Grupo dos 28 precisa de, pelo menos, 10 a 20 vezes mais capacidade de produção de energia eólica *offshore* face ao cenário atual. O salto terá de ser gigantesco, dos atuais 20 GW de capacidade instalada em todo o continente para uns ambiciosos 230 GW, de acordo com Bruxelas. A associação *WindEurope* vai ainda mais longe na previsão e garante que em 2050 é possível já ter o dobro desse valor, ou seja, 450 GW de energia eólica (*offshore*), sendo que 380 GW serão instalados nos mares do Norte da Europa e os restantes 70 GW ficarão reservados para as águas do Sul da Europa, onde se inclui Portugal, como se pode verificar na Figura 6.

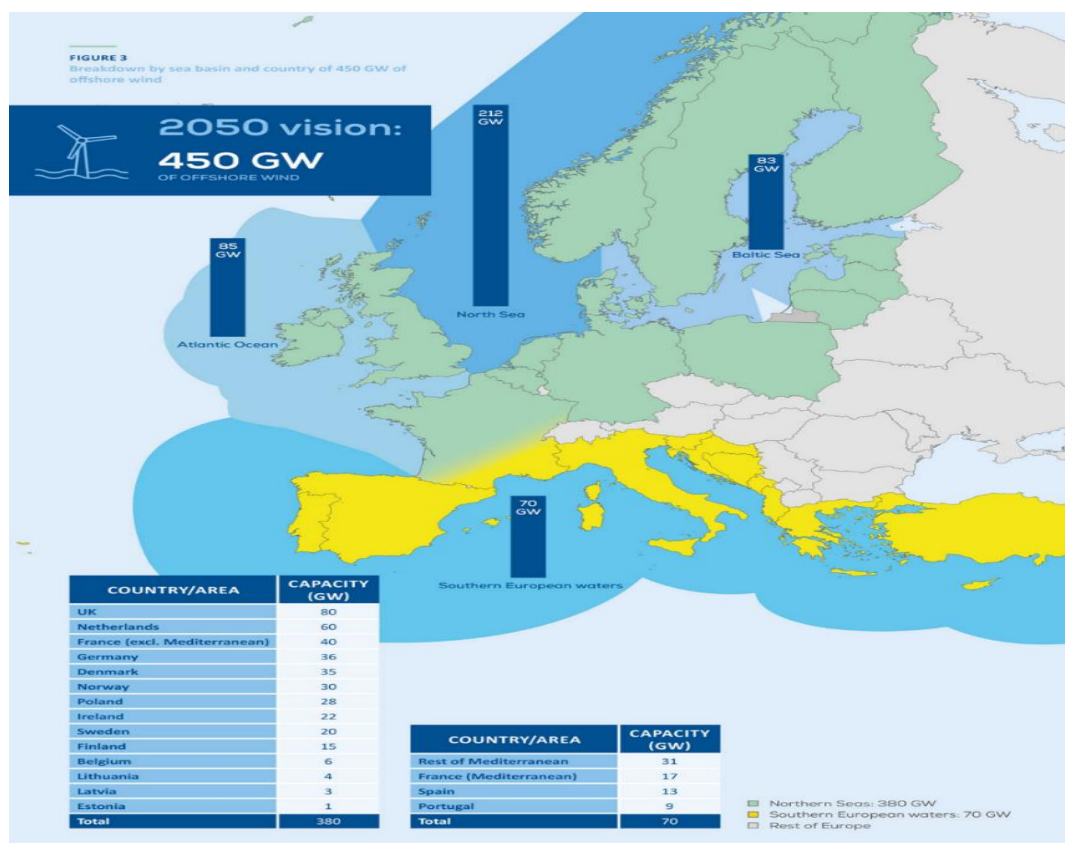


Figura 6- Previsão de instalação offshore até 2050 (*Wind Europe, 2020*)

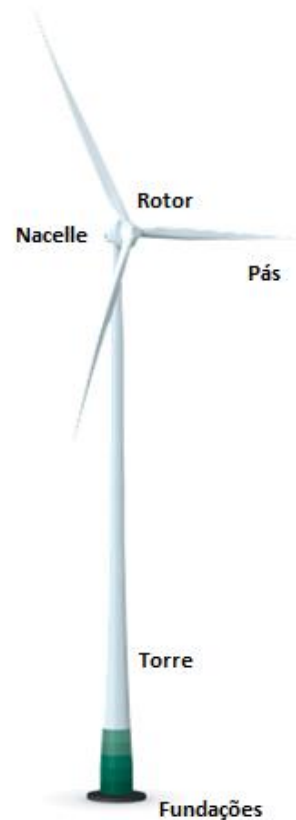
### 3.2 Composição de um Aerogerador

Neste capítulo será descrita a composição principal de um Aerogerador, de forma a ser perceptível todos os termos técnicos inframencionados. Esta composição ir-se-á dividir em três subcapítulos mais importantes, embora um aerogerador, na realidade, seja descrito em mais secções. A Figura 7 ilustra a composição geral de um aerogerador e a Figura 8 ilustra a composição primária de um aerogerador Enercon.

Um aerogerador, genericamente e como se pode verificar na *Figura 7*, é composto por pás, um rotor, uma nacelle ou casa das máquinas, uma torre e as suas fundações. Neste caso em particular, na *Figura 8*, temos demonstrado a composição interna de aerogerador da marca Enercon, onde se pode verificar que no topo do aerogerador estão presentes o gerador, o controlo de excitação e o retificador, sendo que, na base do aerogerador, existem armários elétricos, que de uma forma simplista, possuem um inversor, um filtro de corrente e um transformador.



**Figura 8- composição primária de um aerogerador Enercon**



**Figura 7- Composição geral de um aerogerador**

### 3.2.1 Conjunto de Pás e Hub

O conjunto pás e o *Hub*, nos primeiros aerogeradores, baseavam-se na tecnologia das asas dos aviões, devido à semelhança no funcionamento, contudo, as pás das turbinas eólicas, atualmente, são desenvolvidas para operar à rotação e não a tração, como nos aviões.

Existem duas configurações de instalação, do *Hub* na torre, são elas a montante ou jusante. O mais comum é vermos turbinas com o *Hub* instalado a montante da torre, pois o escoamento do fluido não é perturbado pela mesma. Embora a instalação a jusante tivesse a vantagem do auto-alinhamento.

Um dos conceitos mais importantes no dimensionamento de pás é o conceito de solidez, que se define na razão entre a área total das pás e a área varrida pelas mesmas. Este conceito é importante porque se a solidez se mantiver constante, o rendimento da turbina será tanto maior quanto maior o número de pás. Contudo, o acréscimo de energia gerada pelo vento na transição de duas para três pás é de 5%, mas esta percentagem torna-se progressivamente menor nas transições seguintes, pelo que a solução de três pás, que é a mais comercializada, é a que possui melhor relação rendimento, custo e peso.

As pás das turbinas eólicas, representadas na Figura 9, atualmente são fabricadas à base de materiais compósitos, nomeadamente polímeros reforçados com fibras de vidro. Estes materiais são relativamente baratos e robustos, quando agregados entre si, resistentes à fadiga e facilmente moldáveis às novas morfologias aerodinâmicas. Do ponto de vista mecânico, as fibras de carbono seriam a melhor opção, contudo o custo torna essa opção inviável.

O *Hub*, representado na Figura , tem como função o acoplamento das três pás ao rotor, sendo assim um elemento de ligação fundamental.



**Figura 9- Pá de um aerogerador Enercon**



**Figura 10- Hub de um aerogerador Enercon**

### **3.2.2 Nacelle**

A *Nacelle* de um aerogerador ou casa das máquinas, ilustrado na Figura 9 é o local onde se encontra o gerador, os controladores de *pitch*, os controlos de excitação da máquina, e é onde se encontram também os aparelhos de medição do vento para o correto posicionamento em relação ao vento e onde se encontra o retificador de corrente contínua.



Figura 9-Composição da Nacelle Enercon, (Enercon, 2020)

### 3.2.3 Torre

O objetivo da torre é elevar o rotor até uma altura em que a velocidade do vento seja maior e com um escoamento mais “limpo”, ou seja, com menos perturbações do que no solo. Atualmente a altura das torres têm acompanhado o aumento do tamanho das pás, pelo que, é exigido um dimensionamento da estrutura mais refinado, uma vez que as cargas são maiores e o tempo de vida útil da máquina tem aumentado, o que obriga também a um estudo mais aprofundado em dimensionamento à fadiga.

Para a fabricação das torres tubulares, pode usar-se aço ou betão, sendo estas secções instaladas com o auxílio de guias.

### 3.2.4 Tecnologia dos Geradores

A transformação de energia mecânica rotacional em energia elétrica é efetuada através de um equipamento eletromecânico que se chama gerador. No mercado existem vários tipos de gerador, no entanto a integração no sistema de conversão eólica é complexa, pois existem muitas variáveis como a variação da velocidade do vento, a exigência de compatibilidade com a rede, no que diz respeito a tensão e frequência, a dificuldade de instalação e a dificuldade de manutenção.

Atualmente existem no mercado geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos e geradores de comutador de corrente alternada. Cada tipo de conversão possui vantagens e desvantagens, que devem ser estudadas para a aplicação na conversão eólica.

A Enercon destaca-se no mercado, pois desenvolveu um aerogerador sem caixa de velocidades, ou seja, de acoplamento direto ao gerador, do tipo síncrono, o que faz com que o gerador tenha necessidade de possuir um grande número de polos. Na figura (Figura 10) está ilustrado um gerador síncrono da marca Enercon.



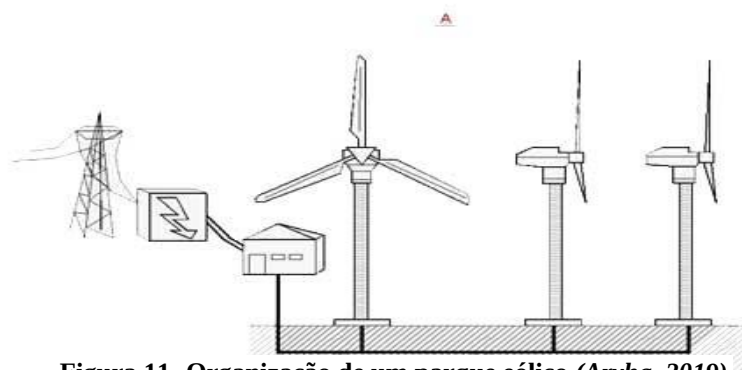
**Figura 10- Conjunto gerador Enercon (Stator e Rotor)**

### **3.3 Parque Eólico**

Um parque eólico tem como propósito a produção de energia elétrica através do aproveitamento da velocidade do vento. O parque eólico define-se por um conjunto de aerogeradores interconectados por cabos de média tensão e cabos de comunicação à subestação e ao edifício de comando.

O parque eólico engloba um conjunto de aerogeradores, uma subestação, um edifício de controlo e um conjunto de acessos rodoviários.

Para ser possível o acesso a um parque eólico, geralmente é necessário construir acessos rodoviários e infraestruturas relacionadas com a distribuição elétrica. Na subestação é onde se encontra o transformador e o restante equipamento elétrico para que seja possível a integração, do parque na rede elétrica nacional. O edifício de comando, alberga o equipamento de controlo e de leitura, a sala do operador e um pequeno armazém de peças para intervenções corretivas. Na Figura 11 está ilustrado um exemplo da organização de um parque eólico.



**Figura 11- Organização de um parque eólico (Arvha, 2019)**

## 4 Gestão de Projeto

### 4.1 Introdução

No âmbito do estágio curricular e com o objetivo de compreensão da componente prática, apresentada adiante, serão introduzidos primeiramente os conceitos básicos da Gestão de Projeto, tentando assim, dar a compreender o valor resultante da utilização das boas práticas e das ferramentas padrão que mais se utilizam na gestão de projetos, independentemente do setor de atividade.

### 4.2 Teoria da Gestão de Projeto

A origem da gestão de projeto moderna surge com o aparecimento da indústria aeroespacial americana, que durante o desenvolvimento dos programas Atlas, Polaris e Apollo, desenvolveu também técnicas e ferramentas de Gestão de Projeto. Este conhecimento foi posteriormente angariado e compilado por vários teóricos e profissionais, surgindo assim organizações formais como o PMI e o PMBOK, que serão apresentados posteriormente.

#### 4.2.1 Definição de Projeto

A definição de projeto, segundo o *Project Management Institute* (PMI) através do seu Guia do Conhecimento em Gestão de Projetos, originalmente *Project Management Body of Knowledge Guide* (PMBOK), definiu projeto como “o esforço temporário, com uma data de início e término, empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”. Ou seja, um projeto pode ser considerado um trabalho único que possui data de início e de fim claramente definidos, possui um *scope* de trabalho bem específico, assim como um orçamento e um nível de desempenho específico. Para que um trabalho seja considerado um projeto, este deverá reunir várias tarefas.

#### 4.2.2 Ciclo de Vida de um Projeto

O ciclo de vida é uma progressão através de vários estágios de desenvolvimento. Um produto ou um serviço possui um ciclo de vida, mas também existe ciclo de vida nos projetos.

Existe diferença entre ciclo de vida do projeto e processo de gestão de projeto, o que as distingue é o facto do ciclo de vida do projeto se basear na questão “o que é preciso fazer para realizar o projeto?” e o processo de gestão de projeto visa responder a “o que é preciso fazer para gerir as tarefas?”.

O ciclo de vida de um projeto é algo referente ao desempenho organizacional ou do departamento de gestão de projeto. Existem vários tipos de ciclos de vida de projeto, dependendo do tipo de produto ou serviço prestado. O ciclo de vida varia, com a orientação seguida e as mudanças que podem surgir.

O plano original de um projeto, requer um *scope of supply*, um prazo e custos estimados ao detalhe, tal deve ser estimado e clarificado no início do projeto, antes de dar início aos trabalhos.

Os projetos que sofrem mudanças, por outro lado, usam ciclos de vida iterados, adaptativos e incrementais, possuindo uma grande variabilidade do *scope*, prazos e custos.´

O ciclo de vida mais comum de um projeto, está representado na Figura 12, na qual é demonstrado a fase inicial, a fase de planeamento, a fase execução e monitorização e a fase final do projeto, sendo visível as interligações entre fases e entre o ciclo de adaptabilidade da gestão às circunstâncias, ao longo do projeto.

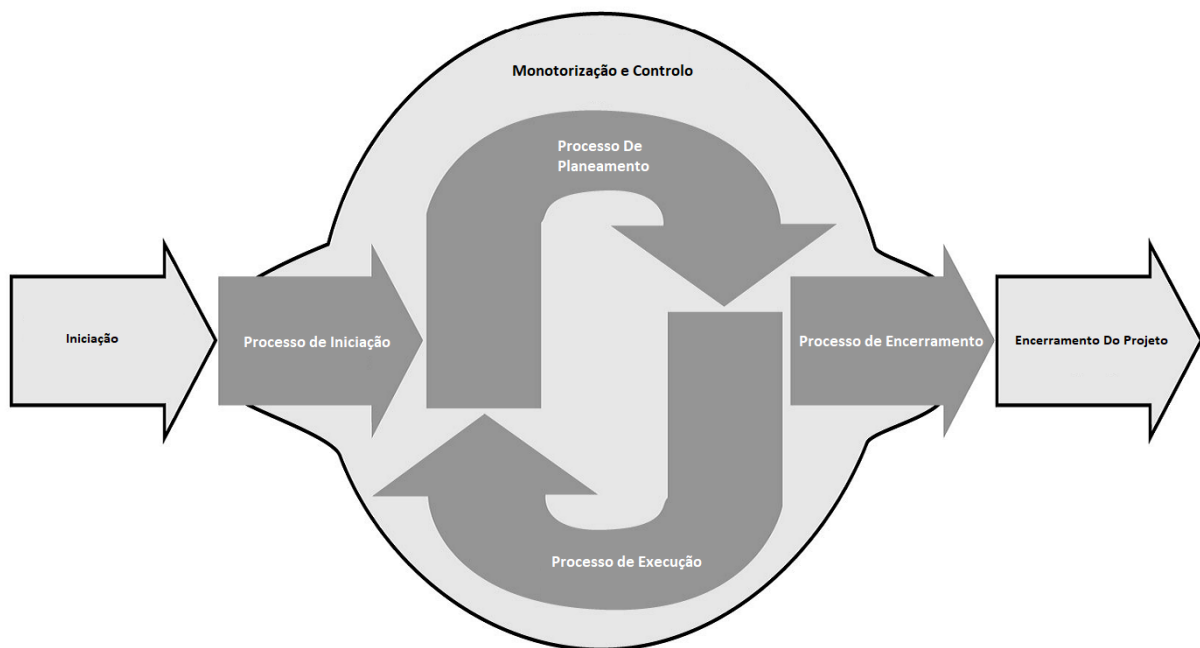


Figura 12- Ciclo de vida de um projeto, adaptado de (Project Management Institute, 2013)

#### 4.2.3 Apresentação do PM Institute

O PMI ou *Project Management Institute*, tem como missão promover, enquanto associação profissional, a profissão do Gestor de Projetos e prática industrial da Gestão de Projetos.

Esta associação foi fundada em 1969 nos Estados Unidos da América. As suas atividades principais são o investimento em pesquisas profissionais e de recursos e também se preocupa com a defesa e a adoção de boas práticas de gestão de projetos em empresas governamentais, empresas privadas, instituições académicas e em outros tipos de organizações. O PMI trata do desenvolvimento de normas padrão, da investigação, da educação, de publicações, da realização de conferências e seminários de formação e de vários tipos de creditações em gestão de projetos.

O PMI, em Portugal, está representado pelo PMI - Portugal Chapter desde 13 de maio de 2003. A sua missão passa por promover, enquanto associação profissional, a profissão do Gestor de Projeto e a prática industrial da gestão de projetos. Entre outros, tem os objetivos estratégicos de estimular a criação, o arquivo e a divulgação de conhecimento, inerente à gestão de projetos, dinamizar os apoios a instituições e no futuro, criar um conselho de formação e consultoria (PMI Portugal, 2019).

#### **4.2.4 Apresentação do PMBOK**

O PMBOK ou *Project Management Body of Knowledge* é um conjunto de boas práticas utilizadas na Gestão de Projeto, desenvolvido pelo PMI, representando este conjunto o fundamento da metodologia de Gestão.

Este guia foi lançado em 1987, porém, foi evoluindo e sofreu alterações sucessivas até a edição atual.

Esta ferramenta, funciona como um guia que se baseia em processos, identificando um conjunto de conhecimentos de gestão de projeto, que são reconhecidos como sendo boas práticas na generalidade dos projetos. Nem todas as boas práticas devem ser escrupulosamente aplicadas, pois a sua utilização deverá sofrer um estudo prévio, conforme a área de aplicação, abrangência e peculiaridades. O guia reconhece 44 processos divididos por 5 grupos de processos e 9 áreas de conhecimento.

Cabe à equipa de Gestão de projeto, determinar o que é adequado para um projeto específico.

#### **4.2.5 Conceito de Gestão de Projeto**

A complexidade na sequência dos projetos e o crescente nível de competição no mercado eólico, impõe um maior foco por parte das empresas na Gestão dos projetos, os quais devem ser planeados e executados com a maior minúcia possível.

Com o objetivo de clarificar este conceito, o PMI propõe que a gestão de projetos “é a aplicação de conhecimentos, capacidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos”.

#### 4.2.6 Composição de uma Equipe de Projeto

Uma equipe de projeto, na teoria, deve incluir um Gestor de Projeto, e uma equipe de trabalho, que tem o objetivo comum de desenvolver o projeto para atingir um determinado objetivo. Na Tabela 1, adaptada do PMI, estão representados os membros de um projeto e as suas contribuições.

| Membros                                 | Papel no projeto                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Equipa de Gestão de Projetos            | Executam atividades como planeamento, orçamentação, relatórios, monitorização, comunicações, gestão de risco e apoio administrativo.                             |
| Equipa do Projeto                       | Membros que realizam o trabalho efetivo de construção do produto ou serviço, que será entregue ao cliente.                                                       |
| Especialistas de Suporte                | Realiza atividades necessárias para desenvolver ou executar o plano de gestão de projeto.                                                                        |
| Cliente ou Representante                | É quem vai adquirir o projeto, pode ser representado através de uma entidade que assegura a qualidade e resultados do projeto.                                   |
| Fornecedores ou Prestadores de Serviços | Empresas externas, que têm contrato para fornecer componentes ou serviços necessários ao projeto.                                                                |
| Membros do Parceiro de Negócios         | Podem ser membros da equipa de projeto, para garantir melhor coordenação.                                                                                        |
| Parceiros de Negócios                   | Empresas externas que têm uma relação especial com a empresa. Os parceiros, geralmente fornecem conhecimentos especializados ou preenchem uma função específica. |

Tabela 1-Composição de uma Equipe de projeto

#### 4.2.7 Stakeholders de um Projeto

Todos os projetos, possuem um conjunto de organizações ou pessoas, com interesses nos resultados e são diretamente influenciados por estes. A estas organizações ou pessoas são conhecidos como partes interessadas ou na gíria empresarial, *stakeholders*.

São considerados *stakeholders* todos os membros da equipa de projeto, bem como todas as entidades internas e externas à organização. Cabe à equipa de projeto identificar as partes interessadas, com o intuito de determinar as especificações e as expectativas em relação ao projeto, de todas as partes envolvidas.

#### **4.2.8 Scope of Supply de um Projeto**

De uma forma muito simples, o *Scope of Supply* representa todas as tarefas necessárias de forma a assegurar que o objetivo do projeto seja cumprido de forma eficiente.

Num projeto com vários intervenientes é essencial haver uma clara definição das tarefas que cada um deverá realizar, de modo a evitar tarefas que não são realizadas por falta da definição das mesmas, ou evitar conflito na realização das tarefas devido à falta de definição das fronteiras, entre *scopes* de diferentes entidades. É extremamente importante haver esta clara definição, pois evita custos adicionais e atrasos no cronograma do projeto.

#### **4.2.9 Importância das Kick-off-Meetings**

As *kick-off-Meetings* são reuniões efetuadas na fase inicial do projeto, onde o Gestor de Projeto apresenta o seu projeto, o planeamento e os termos contratuais do mesmo.

O grande objetivo destas reuniões é alinhar, com as partes interessadas, os detalhes técnicos dos trabalhos, para que estes sejam realizados com precisão.

A gestão de expectativas também é importante esclarecer desde o início, pois é nestas reuniões que se transmitem as expectativas do cliente e do projeto, que se confrontam com as expectativas dos subcontratados, possibilitando assim, o esclarecimento de dúvidas de forma precisa.

### **4.3 Diferença entre Sucesso da Gestão de Projeto e do Projeto**

Por vezes existe dificuldade em diferenciar o sucesso da gestão de Projeto e o sucesso do próprio projeto.

O sucesso pode ser classificado de forma diferente, dependendo da perspetiva de cada *stakeholder*. Pois gerir projetos também é gerir expectativas e estas, estão relacionadas com as precessões de sucesso.

A escolha assertiva das técnicas de gestão de projeto que estão descritas no Project Management Institute, contribuem para a concretização do projeto, mas se o projeto não tiver o mínimo de potencial de sucesso, a gestão de projeto não transforma um projeto fracassado

num projeto de sucesso. Enquanto que, um projeto com grande potencial de sucesso, tê-lo-á independentemente de ser feita uma boa gestão, porém uma boa gestão de projeto aumentará eficiência do mesmo.

#### 4.4 O Triângulo das Restrições

O triângulo de ferro ou o triângulo das restrições, representa o relacionamento entre as principais variáveis de um projeto que são, os custos, tempo e *Scope*. Um quarto elemento que muitos autores acrescentam é a qualidade, sendo esta é resultante das decisões tomadas nas restantes variáveis.

Através do triângulo, ilustrado na Figura 13, conseguimos visualizar as consequências das escolhas num projeto. Esta forma triangular tenta ilustrar que as variáveis de projeto, estão todas interligadas e, assim sendo, é possível identificar os impactos das decisões, em todas as restrições.

Regra geral só podemos valorizar duas restrições em sacrifício de outra. Dependendo sempre do objetivo de cada projeto e de cada instituição.

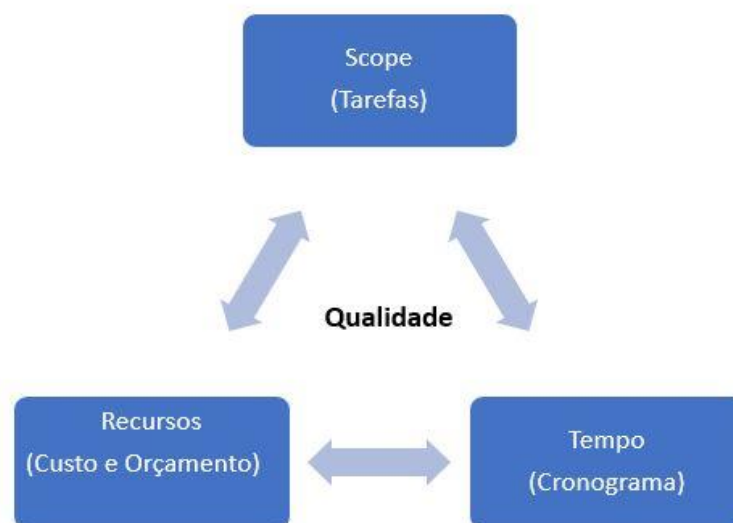


Figura 13- Triângulo das restrições

#### 4.5 Gestão de Risco

Apelando ao senso comum, a ideologia de risco está inerente à interação intencional com a incerteza e a probabilidade desta potenciar a perda de algum valor, em que valor podem ser bens materiais, saúde, estados sociais, emocionais e financeiros.

Alguns riscos a gerir, podem ser categorizados por riscos físicos, económicos e de mercado, tecnológicos, empresariais, comerciais e de mudanças sociais.

Os riscos, geralmente são eventos e situações incertas e indesejáveis à equipa de Gestão de Projeto, que podem não estar totalmente identificados para serem tratados, ou não estarem sob o seu domínio. A gestão de risco baseia-se em gerir todos os acontecimentos indesejáveis, evitando que aconteçam, mitigando o impacto ou transferir esse risco para as entidades subcontratadas.

O risco de cada evento pode ser definido pela equação (1).

$$Risco = Probabilidade * Impacto \quad (1)$$

Deste ponto de vista, e de forma quantitativa e qualitativa, a análise de risco mostrar-se-á fundamental no desenvolvimento de modelos de avaliação do risco.

Segundo a *Federation of European Risk Management Associations*, o simples facto de haver atividade, abre a possibilidade de ocorrência de eventos em que as consequências podem constituir uma ameaça ao sucesso ou uma oportunidade do mesmo.

#### 4.5.1 Definição do Projeto

Sendo um projeto, por definição, um conjunto de tarefas em sucessão e perante a imprevisibilidade do risco, podemos afirmar que estas atividades e os seus objetivos estão sujeitos ao risco.

Tendo por referência o (Project Management Institute, 2013), que define risco como “... evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos de projeto...”.

No planeamento de uma obra, a gestão de risco é uma etapa muito importante na Gestão de Projetos, e é dividida no processo de identificação, análise, estimativa qualitativa, estimativa quantitativa, tratamento e monitorização do risco. Sendo o objetivo destas etapas diminuir a probabilidade e o impacto dos acontecimentos negativos e potenciar os acontecimentos positivos.

Segundo (Mulcahy, 2013), o sucesso da gestão de risco não pode ser feito apenas com uma lista de riscos padronizada de projetos anteriores, embora que, tal lista possa ajudar a criar um plano e a identificar os riscos.

A Gestão de riscos segue uma metodologia sequencial bastante completa como demonstra o diagrama da Figura 14.

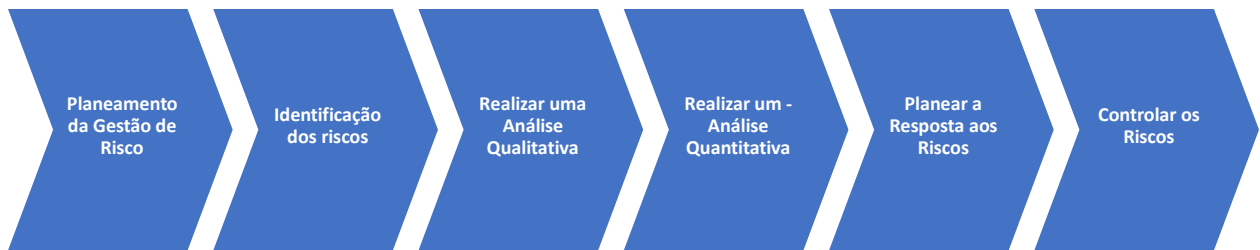


Figura 14- Sequência da gestão de risco

#### 4.5.2 Planeamento da Gestão de Risco

O Plano da gestão de riscos é um processo de definir como vai ser vocacionada a gestão de risco durante o projeto. É nessa fase que se define a metodologia, funções e responsabilidades e também se define como a gestão de risco irá influenciar o orçamento e o tempo de execução do projeto. Antes de sabermos quais os riscos que o projeto terá de enfrentar, primeiramente tem de se definir as fronteiras da matriz probabilidade e impacto, como se pode verificar na Tabela 2 e definir a resposta ao risco, como ilustrado na Tabela 3.

| Impacto\Probabilidade | Muito baixo | Baixo | Médio | Elevado | Muito elevado |
|-----------------------|-------------|-------|-------|---------|---------------|
| 0,9                   |             |       |       |         |               |
| 0,7                   |             |       |       |         |               |
| 0,5                   |             |       |       |         |               |
| 0,3                   |             |       |       |         |               |
| 0,1                   |             |       |       |         |               |

Tabela 2- Matriz impacto/probabilidade

| Resposta ao Risco |                    |
|-------------------|--------------------|
| Alto              | Mitigar/ Evitar    |
| Médio             | Mitigar            |
| Baixo             | Aceitar/Transferir |

Tabela 3- Resposta ao risco

### 4.5.3 Identificação dos Riscos

Na identificação de riscos do projeto, é essencial envolver todos os *stakeholders* e até incluir *reviews* e pesquisas de outros projetos. Os melhores gestores de projeto, começam a análise de risco na fase mais inicial possível do projeto, pois é nesta fase que existe menor impacto do risco e existe tempo para planejar e prever as ocorrências e os seus impactos. Mas como é obvio, tem de se consciencializar todos os intervenientes, que inevitavelmente irão ocorrer episódios imprevistos durante a fase de construção do projeto, cabendo à equipa de planeamento e gestão de risco, monitorizar ao longo de todo o projeto, os riscos.

Para a identificação dos riscos possuímos várias ferramentas, tais como:

**Lessons learned:** Consiste na análise de documentação e experiência de projetos anteriores, permitindo analisar o que correu menos bem e aconselhar a não cometer os mesmos erros ou, por outro lado, analisar uma boa abordagem feita em projetos anteriores. Esta é uma ferramenta utilizada em todos os setores, sendo atualmente um padrão em toda a indústria.

**Recolha de informação:** As técnicas para a recolha de informação, de forma a identificar os riscos, que se seguem, também são utilizadas para recolher os requisitos de projeto.

- **Brainstorming:** Usualmente é feito em reunião onde uma ideia ajuda a gerar outras ideias.
- **Técnica de Delphi:** Esta técnica é usada com a finalidade de chegar a um consenso entre os peritos que participam anonimamente.
- **Entrevista:** Esta técnica consiste em a equipa de gestão de projeto, entrevistar os intervenientes no projeto ou especialistas para identificar os riscos ou os riscos de uma determinada tarefa do projeto.
- **Análise da origem do problema:** Nesta análise, os riscos identificados são organizados pela sua origem, ajudando a identificar mais riscos.

**Análise SWOT (*Strenghts, Eeaknesses, Opportunities, and Threats*):** Esta análise olha para o projeto de forma a identificar os pontos fortes e os pontos fracos, identificando também os riscos (*opportunities and threats*).

**Lista de Verificação (checklist):** Esta técnica, como já referido anteriormente, segue uma lista de riscos categorizados pelo planeamento de gestão de risco. Esta lista ajuda a identificar riscos escondidos por categoria.

**Análise de considerações:** Saber quais as considerações que foram tomadas no projeto, e testar a validade das mesmas pode identificar mais riscos.

Após saber quais os riscos que existem num projeto, tem de se registar numa tabela, composta pela lista de riscos e as suas respetivas respostas, categorizando-as pela origem do risco.

#### 4.5.4 Avaliação dos Riscos

A avaliação de risco de um projeto, prevê a qualificação e classificação dos riscos, de acordo com a probabilidade do seu acontecimento e o seu impacto no *scope* do projeto. Esta avaliação permite, posteriormente definir níveis de prioridade. Para tal, é necessário fazer uma avaliação qualitativa e quantitativa, que será explicado neste subcapítulo.

##### 4.5.4.1 Avaliação de Risco de Forma Qualitativa

A análise qualitativa é subjetiva, onde priorizamos os riscos a partir da probabilidade de impacto, estudada durante uma fase inicial da análise risco, priorizando assim a elaboração de uma resposta para o risco. Para a elaboração desta avaliação, é útil utilizar a matriz de impacto e probabilidade, como ilustra a Tabela 4.

| Probability                                                                                                                            | Threats                           |      |      |      |      | Opportunities                      |      |      |     |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------------------------------------|------|------|-----|----------|
|                                                                                                                                        | Risk Score = Probability x Impact |      |      |      |      | High (RED) / Med (YEL) / Low (GRN) |      |      |     |          |
| 0.90<br>Very Likely                                                                                                                    | 0.05                              | 0.09 | 0.18 | 0.38 | 0.72 | High                               | High | High | Med | Low      |
| 0.70<br>Likely                                                                                                                         | 0.04                              | 0.07 | 0.14 | 0.28 | 0.56 | High                               | High | Med  | Med | Low      |
| 0.50<br>Possible                                                                                                                       | 0.03                              | 0.05 | 0.10 | 0.12 | 0.40 | High                               | High | Med  | Low | Low      |
| 0.30<br>Unlikely                                                                                                                       | 0.02                              | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.24 | High                               | Med  | Med  | Low | Low      |
| 0.10<br>Very Unlikely                                                                                                                  | 0.01                              | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | Med                                | Low  | Low  | Low | Low      |
|                                                                                                                                        | 0.05                              | 0.10 | 0.20 | 0.40 | 0.80 | Very High                          | High | Med. | Low | Very Low |
| Example Impact Definitions – May Be Tailored to Each Project Objective<br>Impact on an Objective (e.g. Cost, Schedule, Scope, Quality) |                                   |      |      |      |      |                                    |      |      |     |          |

Tabela 4- Matriz qualitativa de análise de ameaças e oportunidades (*Industrial Audit*, 2019)

#### 4.5.4.2 Avaliação de Risco de Forma Quantitativa

Este processo, tem como objetivo, analisar numericamente os efeitos do risco, nas metas gerais pré-estabelecidas.

Os propósitos quantitativos da análise de risco são os seguintes:

- Determinar quais situações de risco justificam uma resposta;
- Determinar o risco geral de projeto;
- Determinar a probabilidade de atingir os objetivos do projeto;
- Determinar a tolerância nos custos e no tempo.
- Identificar os riscos que requerem mais atenção.
- Criar custos, prazos e metas realistas e tangíveis.

Para mensurar o risco, deve-se ter em conta a probabilidade e o impacto. As ferramentas usadas para este efeito são, o cálculo do *expected monetary value* (EMV), a análise de Monte Carlo e a árvore de decisão.

**Análise *Expected Monetary Value*:** Esta análise é a mais usada para dar dimensão quantitativa ao risco, que se basei na premissa referida até aqui. O EMV, representado pela equação (2), nada mais é que a probabilidade do risco se concretizar (P), multiplicada pelo impacto que esse risco poderá provocar (I).

$$EMV = P * I \quad (2)$$

**Análise de Monte Carlo:** A análise de Monte Carlo é uma técnica de modelação e simulação, que pode ser aplicada na medição dos impactos no cronograma de um projeto. Esta ferramenta avalia e qualifica os riscos através da seleção das atividades de maior relevância do cronograma, estima-se um prazo otimista e um prazo pessimista para a execução de cada uma destas atividades e através de iterações sucessivas e aleatórias estima-se vários resultados para a data de conclusão do projeto, podendo-se determinar com uma maior ou menor incerteza.

**Árvore de decisão:** Se tiver de ser feita uma escolha e houver várias alternativas, deve-se analisar primeiramente cada risco ou oportunidade. A árvore de decisão pode ajudar neste tipo de análise. Com este método é possível decidir informada-mente, tendo em consideração a associação de riscos, probabilidades e impactos.

#### 4.5.5 Plano de Resposta aos Riscos

No plano de resposta ao risco, tenta-se encontrar formas de eliminar ou reduzir os riscos e encontrar meios de incrementar a probabilidade das oportunidades. É nesta fase que se adota uma estratégia para lidar com este binómio. As opções de lidar com o risco são as seguintes:

- **Riscos a evitar:** Análise e eliminação da causa dos riscos;
- **Riscos a mitigar:** Análise e avaliação de medidas que podem reduzir a probabilidade ou impacto dos riscos;
- **Riscos a aceitar e a contingenciar:** Nos projetos em que não é possível evitar ou mitigar os riscos, deve-se acautelar no orçamento um valor correspondente a valorização do risco.
- **Risco a transferir:** A transferência de risco pode ser feita pela contratação de um seguro, através de vínculos de desempenho, garantias ou subcontratar partes do trabalho que incluem esse risco. É aqui em que o departamento de *procurement* se baseia na análise de risco para gerir os contratos a fazer.

#### 4.5.6 Monotorização e Controlo do Risco

O controlo de risco é basicamente a implementação do plano de resposta ao risco, isto é, seguir os riscos identificados, monitorizar riscos residuais, identificar novos riscos e avaliar a gestão de risco planeada, na fase inicial do projeto. Como as fases referidas anteriormente, esta também possui ferramentas úteis, de modo a gerir o risco durante o projeto, essas ferramentas são:

- **Reavaliação e auditoria do risco:** O controlo de risco frequentemente resulta na identificação de novos riscos, resulta também na reavaliação da probabilidade e do impacto dos riscos previamente previsto e arquivamento dos riscos já ultrapassados. Esta reavaliação deve ser agendada frequentemente ao longo do projeto, dependendo da sua complexidade e duração.

- **Análise Reversa:** A análise reversa, durante a execução do projeto, consiste em consultar as reservas de budget e avaliar quanto ainda pode ser necessário. Analogamente é como consultar o balanço da conta bancária. Esta metodologia deve ser cumprida e regular ao longo do ciclo de vida do projeto.
- **Reuniões:** Reuniões devem ser feitas ao longo do ciclo de vida de projeto, com o objetivo de discutir e controlar o estado e os novos riscos, pois nestas reuniões é mais fácil chegar à causa do problema e assim adotar medidas preventivas.

## 4.6 Gestão de Custo de um Projeto

A gestão de custo de um projeto envolve planeamento, estimativa, orçamentação, financiamento e controlo de custos para que o projeto, a ser realizado, cumpra o orçamento.

Esta gestão pode ser definida em 4 fases fundamentais para um bom funcionamento do projeto e para que sejam cumpridas todas as exigências dos *stakeholders*, embora nos projetos de menor dimensão possam existir apenas 3 fases para a gestão de custo. As fases mais importantes, segundo o PMBOK, são as seguintes ilustradas na Figura 15.

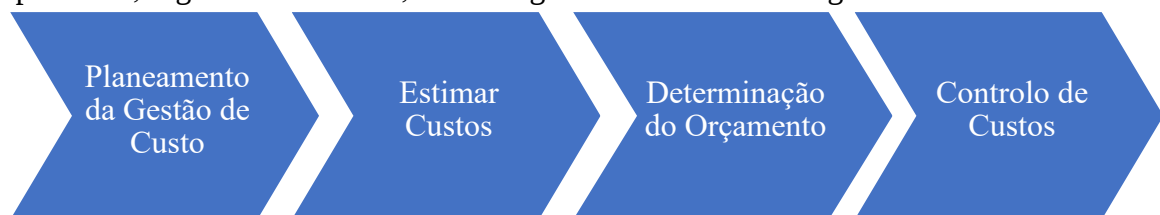


Figura 15- Sequência da gestão de custo

### 4.6.1 Planeamento da Gestão de Custo

Nesta etapa deve-se consultar os especialistas, gestores e equipas mais experientes, agendando reuniões, com o objetivo de desenvolver um plano de gestão de custo. Este plano descreve como os custos do projeto serão planeados, estruturados e controlados.

Normalmente um plano deste tipo estabelece e define:

- As unidades de medida;
- O nível de precisão;
- Os procedimentos organizacionais;
- Fronteiras de controlo;

- As regras de medição de desempenho;
- Formato dos relatórios;
- Descrição do processo;
- Detalhes adicionais de importante relevância para a gestão de custo.

#### 4.6.2 Estimativa dos Custos

Este processo envolve a descrição da estimativa do custo de cada atividade. Estes custos são posteriormente utilizados para a formulação do orçamento de projeto. Para a elaboração desta estimativa, devemos ter em conta os seguintes fatores:

- Custos relativos à qualidade;
- Custos relativos ao risco;
- Custos do tempo da equipa envolvida no planeamento;
- Custos das atividades da equipa;
- Custos associados diretamente ao projeto nomeadamente, mão de obra, materiais, formações para o projeto, computadores, etc.
- Despesas relacionadas com a infraestruturas usadas para a realização do projeto.
- Custos fixos.

Existem diferentes tipos de custos, nomeadamente os custos fixos que não variam ao longo do projeto, por exemplo rendas e serviços de utilidade pública. Existem também os custos variáveis, que podem sofrer alteração ao longo do projeto, os quais estão dependentes de variáveis aleatórias, como as condições climáticas e custos dos materiais. Além disso, os custos do projeto podem ser diretos ou indiretos.

Para ser possível realizar uma estimação de custos, primeiramente é necessário saber o que é preciso para a realizar. O (Project Management Institute, 2013), define que é essencial criar um plano de gestão de risco, saber claramente qual é o *Scope of supply*, conhecer o cronograma planeado para o projeto, possuir uma análise de riscos e oportunidades, possuir um histórico de projetos análogos ou um histórico dos *stakeholders* e inteirar-se dos custos associados à gestão de projeto.

Para uma boa aferição dos custos, a técnica mais utilizada é a *Bottom-Up Estimating*, que se resume na criação de uma lista detalhada de atividades associadas a pacotes de trabalho, que descreve o seu custo.

### 4.6.3 Determinar o Orçamento

Nesta fase da gestão de custo, o gestor calcula o total dos custos do projeto, com o objetivo de determinar os fundos necessários para o projeto. O resultado deste cálculo é denominado *budget* do projeto.

Para a criação do orçamento é necessário criar um orçamento base no instante inicial que exclui todas as reservas e contingências, de forma a tornar-se um termo de comparação com os custos futuros. Seguidamente a esse orçamento base adiciona-se contingências e reservas. A

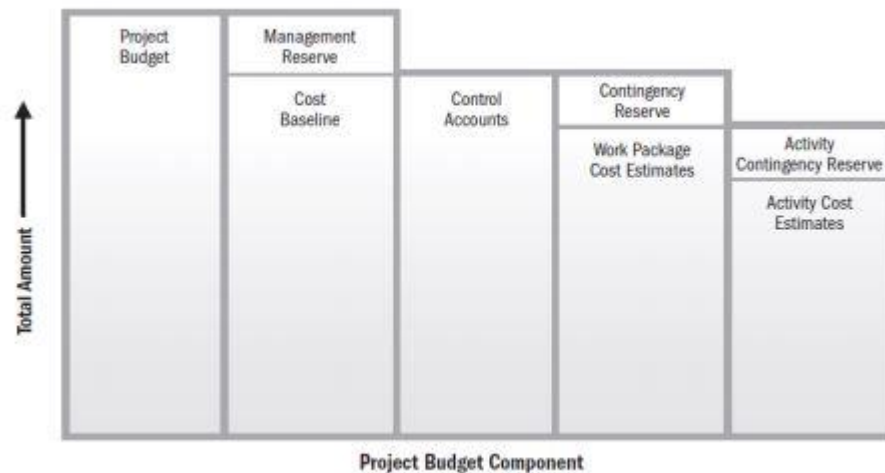


Figura 16 - Composição do Budget (*Project Management Institute, 2013*)

Figura 16 ilustra a composição do *budget* de um projeto.

### 4.6.4 Controlo de Custo

O orçamento do projeto varia ao longo da sua implementação. A realização da atualização do orçamento pressupõe o conhecimento dos custos atuais do projeto. Antevê-se que o maior esforço na gestão de custo encontra-se na análise entre os gastos do projeto e o trabalho físico realizado para esses gastos. A gestão de custo, resumidamente inclui:

- Controlar os fatores que alteram o orçamento base autorizado;
- Assegurar que todas as mudanças são feitas em tempo útil;
- Gerir as mudanças quando e como elas ocorrem;
- Assegurar que o custo de cada tarefa não excede o planeado para cada conjunto de trabalhos;
- Monitorizar os custos de forma a isolar e analisar a variância em relação ao orçamento base;
- Monitorizar o desempenho em relação aos gastos;

- Manter os custos esperado, dentro do orçamento definido.

Uma das ferramentas muito utilizadas na gestão de custo é o *Earned Value Calculation*, ou seja, é uma metodologia que combina o objetivo de projeto com o cronograma e a gestão de recursos. Este método é frequentemente usado para avaliar o desempenho dos projetos.

O princípio do *Earned Value calculation* consiste em desenvolver e monitorizar as três dimensões chave para cada tarefa ou pacote de trabalhos.

As três dimensões essenciais são:

- Valor Planeado;
- Valor Ganho;
- Valor Gasto.

Com estes três valores é possível avaliar o desempenho passado e prever o desempenho futuro, recorrendo aos índices de desempenho básicos. Na

Tabela 5 estão representados os indicadores de desempenho elementares, para o controlo de custo de um projeto, as suas fórmulas de cálculo, bem como as definições, modo de utilização e modo de interpretação de resultados.

| Sigla                   | Definição         | Equação    | Descrição                                                                                            | Interpretação de resultados                                         |
|-------------------------|-------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Dados de Entrada</b> |                   |            |                                                                                                      |                                                                     |
| PV                      | Valor Planeado    |            | Valor esperado para a conclusão de uma tarefa                                                        |                                                                     |
| EV                      | Valor Agregado    |            | O valor relativo à percentagem de conclusão da tarefa                                                |                                                                     |
| AC                      | Custo Real        |            | Custo atual da tarefa até à data                                                                     |                                                                     |
| <b>Dados de Saída</b>   |                   |            |                                                                                                      |                                                                     |
| SV                      | Variação do Prazo | $SV=EV-PV$ | Indica se a tarefa, no seu estado atual, está atrasada ou adiantada, relativamente ao prazo definido | $SV < 0$ Adiantado<br>$SV = 0$ Dentro do prazo<br>$SV > 0$ Atrasado |

|     |                                |                |                                                                                             |                                                           |
|-----|--------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| SPI | Índice de Desempenho do Prazo  | $SPI = EV/PV$  | Revela o desempenho do projeto, em percentagem, relativamente ao planeamento para o momento | SPI < 1 Adiantado<br>SPI > 1 Atrasado                     |
| CV  | Variação do Custo              | $CV = EV - AC$ | Informa se o custo da tarefa, até ao momento, está acima ou abaixo do orçamento previsto    | CV < 0 Acima do orçamento<br>CV > 0 Abaixo do orçamento   |
| CPI | Índice de Desempenho de Custos | $CPI = EV/AC$  | Indica a eficiência em termos orçamentais da tarefa.                                        | CPI < 1 Acima do orçamento<br>CPI > 1 Abaixo do orçamento |

Tabela 5- Indicadores básicos de desempenho

#### 4.7 Gestão da Qualidade

A Gestão da qualidade, por definição, implica a criação e controlo das medidas e dos procedimentos, com o objetivo de assegurar que o projeto cumpre os padrões definidos entre o fornecedor e o cliente.

Da mesma forma, pode-se definir gestão de qualidade, como a ferramenta que assegura a fluidez do projeto, sendo esta, responsável pelo cumprimento dos requisitos do projeto. A gestão de qualidade pode ser dividida nos seguintes processos demonstrados na

Figura 17.



Figura 17- Sequência da gestão de qualidade (Project Management Institute, 2013)

#### 4.7.1 Planeamento da Gestão da Qualidade

O planeamento da Gestão da Qualidade é o processo de identificação dos requisitos, em termos da qualidade do projeto ou produtos a entregar, e definição, sob forma de documento, dos padrões de conformidade do projeto.

O grande benefício deste planeamento é providenciar um guia de como a qualidade irá ser gerida e controlada, ao longo do projeto. Este plano é fundamental para o Gestor de Projeto, pois descreve a implementação das políticas organizacionais em relação a qualidade do seu produto.

Para a realização deste planeamento, o (Project Management Institute, 2013) aconselha as seguintes ferramentas e técnicas:

- **Análise Custo-Benefício:** Esta técnica consiste em balancear os benefícios em relação ao custo do esforço da qualidade, com o objetivo de determinar o nível adequado de qualidade e requisitos para o projeto.
- **Custo da Qualidade:** O custo da qualidade, inclui todos os custos inerentes ao ciclo de vida do projeto. Esta técnica baseia-se na comparação entre os custos do investimento na prevenção das não conformidades dos requisitos, com os gastos consequentes das não conformidades, durante e após o projeto. Sendo que, os custos da prevenção terão de ser sempre menores do que os custos do resultado das não conformidades, de outra forma é inviável o melhoramento da qualidade.
- **Sete Ferramentas Básicas:** Estas ferramentas servem para clarificar as expectativas e necessidades em relação à qualidade do projeto. As sete ferramentas são:
  - **Diagrama causa-efeito:** Também conhecido por diagrama espinha de peixe, é útil para estabelecer ligação entre efeitos indesejáveis às causas atribuídas, ajudando assim a implementar ações corretivas para colmatar os efeitos.
  - **Fluxograma:** O fluxograma mostra as atividades, pontos de decisão, *loops* de ramificações, caminhos paralelos e o estado geral do processo. Mostrando-se útil na perceção e estimação do custo da qualidade.
  - **Verificação Ponto a Ponto:** Muito útil na recolha de dados dos requisitos ao executar inspeções com o objetivo de identificar defeitos.
  - **Diagrama de Pareto:** Este diagrama ajuda a despertar atenção nos problemas mais críticos, pois prioriza as potenciais causas do problema.
  - **Histograma:** O histograma é uma forma especial de um gráfico de barras que é usado para descrever a tendência, dispersão e forma da distribuição estatística.

- **Gráfico de Controle:** Este gráfico é usado para determinar se o produto está dentro dos limites parametrizados, refletindo os limites máximos e mínimos permitidos.
- **Diagrama de Dispersão:** Este diagrama confronta duas variáveis para determinar a relação entre elas, permitindo analisar a correlação entre uma causa do problema e a razão do mesmo.
- **Benchmarking:** Esta técnica, envolve analisar outros projetos, de forma a obter ideias de melhorias para os projetos atuais e providenciar uma base comparável, de forma a mensurar o desempenho da qualidade.
- **Amostragem estatística:** A amostragem estatística consiste em escolher aleatoriamente peças da linha de montagem, com o objetivo de as inspecionar e testar. A frequência e o tamanho da amostragem devem ser determinadas na fase de planeamento, para que nos custos da qualidade sejam incluídas essas peças.

#### 4.7.2 Gerir a Qualidade

Gerir a qualidade é um processo de averiguação, durante a realização do projeto, dos requisitos solicitados e dos resultados das medições do controlo de qualidade, de forma a assegurar que os padrões de qualidade e operacionalidade se cumprem. O grande benefício deste processo é permitir o aprimoramento da qualidade, pois a melhoria permite reduzir os desperdícios e elimina atividades que não acrescentam valor, isto permite também melhorar de eficiência e eficácia. Para tal, e como resultado deste processo, trona-se essencial tomar ações corretivas e preventivas, de forma a cumprir todos os padrões solicitados.

De modo a cumprir os padrões de qualidade, as ferramentas da teoria de Gestão de Projeto utilizadas são:

- **Diagrama de Afinidade:** Este método ajuda a organizar grandes quantidades de informação, organizando-os por temas ou grupos de trabalho.
- **Diagrama de Árvore:** É útil na análise de decisão, pois permite organizar dados e mostrar relações, que posteriormente são decompostos em processos, de modo a encontrar a solução para um problema, ajudando nas tomadas de ações, corretivas ou preventivas.
- **Gráfico da Decisão de Processo Pré-programado:** Este gráfico, permite decompor objetivos em passos a serem tomados para o cumprimento destes, permitindo à equipa discutir os potenciais riscos a cada passo.
- **Diagrama de Inter-relação:** O diagrama de inter-relação permite analisar a relação entre problemas diferentes, identificando também as relação causa-efeitos desses problemas.

- **Diagrama Matricial:** O diagrama matricial, procura mostrar a força das relações entre fatores, causas e objetivos que existem entre as linhas e colunas da matriz.
- **Matriz de priorização:** Identifica os principais problemas e alternativas adequadas a priorizar, assim como um conjunto de decisões para implementação.
- **Diagrama de atividades em rede:** Se o objetivo for a melhoria de tempo, este diagrama é essencial na gestão de processos.

#### 4.7.3 Controlo da Qualidade

Controlo de qualidade é o processo que garante um nível de qualidade do produto a entregar. O controlo implica medir, e medir pode ser produtos, serviços ou processos, assegurando o cumprimento dos padrões contratualizados. Este processo ajuda na aceitação, por parte do cliente, do produto a entregar.

A equipa de gestão de projeto, nesta etapa tem de conhecer os resultados esperados, o plano de gestão de qualidade e a lista de verificação. E para poder interpretar os resultados obtidos, o responsável pelo controlo da qualidade deve ser sensível ao conceito de probabilidade, distribuição normal, desvio padrão, independência estatística e exclusividade mútua.

O resultado deste controlo garante o cumprimento dos padrões pré-definidos. Contudo, este é um processo de melhoria contínua, sendo que a prevenção do retrabalho evita atrasos no projeto.

### 4.8 Gestão de Tempo

A gestão de tempo é um dos temas mais complexos na gestão de projeto. Os prazos, que normalmente são definidos pelo Gestor de Projeto, devem ser bem estruturados e acautelados, pois é sobre estes prazos que as equipas vão trabalhar, e os gastos e as prioridades serão calculados.

Para além disso, a forma como é feita a organização do fluxo de trabalho, tem impacto direto na satisfação do cliente. Por esse motivo é fundamental investir numa boa gestão de tempo, pois irá contribuir para uma boa organização ao nível de cada etapa, diminuindo os riscos, tornando o cronograma mais flexível e garante que toda a equipa se pode organizar com base no cronograma.

A gestão de tempo, segundo o Project Management Institute, é feita a partir de um conjunto de processos de forma a que a equipa tenha maior probabilidade de cumprir os prazos combinados. A gestão de tempo é dividida nas seguintes fases, ilustradas na Figura 18.

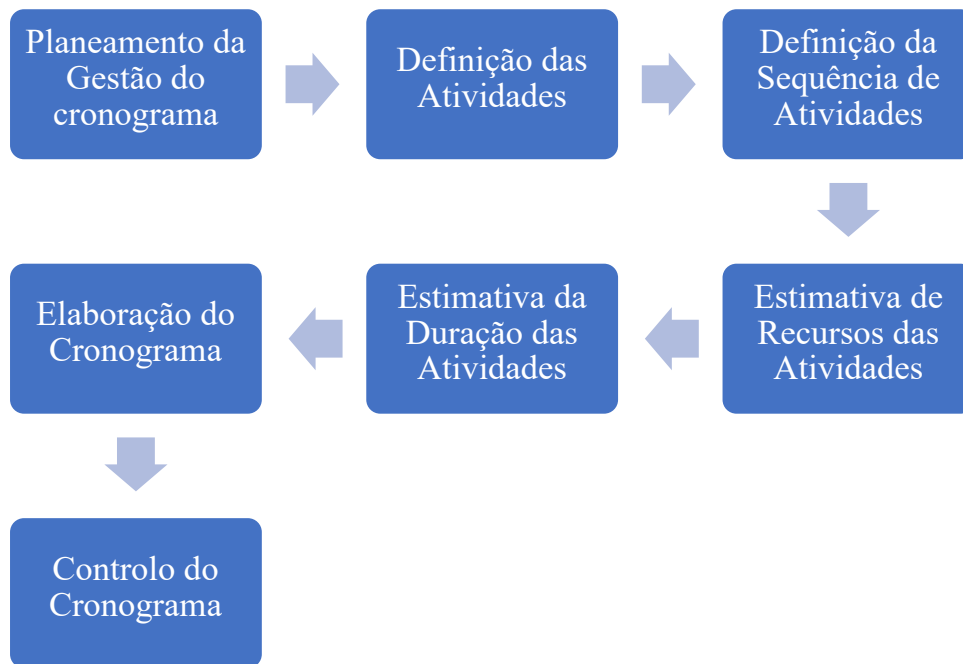


Figura 18 - Sequência da gestão de tempo ( *Project Management Institute, 2013*)

#### 4.8.1 Planeamento da Gestão do Cronograma

O planeamento da Gestão do cronograma é o processo que consiste em documentar a abordagem que será feita ao projeto, relativamente ao planeamento, gestão e controlo do cronograma. Muito genericamente, este documento deve responder a perguntas como:

- Quem estará envolvido e que abordagem será feita para planear o cronograma do projeto?
- Quais os processos e procedimentos que serão usados para criar o cronograma?
- Quais os programas que se utilizarão para desenvolver o cronograma?
- Quais as unidades de medida que serão utilizadas?
- Como será feita a Gestão e controlo eficiente do projeto, em relação ao cronograma padrão, para controlar as variâncias do cronograma?

O plano de gestão do cronograma pode ser formal ou informal, mas é um documento que deve constar no plano de gestão de projeto. Este plano ajuda a desenvolver um cronograma mais rapidamente, pois providencia referências ao Gestor de projeto relativamente à metodologia que deve seguir. Durante a monitorização e controlo, o plano pode ajudar a determinar se a variação de tempo está acima do que inicialmente foi definido, desencadeando assim, medidas de contenção da variação, que devem também, estar contempladas neste documento.

#### 4.8.2 Definição de Atividades

Este processo envolve detalhar e decompor cada atividade inerente ao seu pacote de trabalhos. Estas atividades devem ser detalhas a tal nível, que se consiga estimar, agendar, monitorizar e controlar todas as tarefas.

Para desenvolver a lista de trabalhos, de forma detalhada, é útil utilizar as seguintes ferramentas, fornecidas pelo Project Management Institute.

- **Rolling Wave Planning:** Esta técnica de planeamento não é muito utilizada pelos gestores de projeto mais conservadores, pois é um planeamento adaptativo, isto é, quando não é possível detalhar todas as etapas do projeto, planeia-se cada etapa, somente com o nível de detalhe necessário. Sendo este nível posteriormente mais refinado, dependendo da exigência de cada etapa, e assim sucessivamente.
- **Milestones:** Os marcos representam eventos significantes no cronograma do projeto, eles não são atividades laborais, logo não possuem duração. Normalmente os marcos ilustram entregas importantes ou datas importantes para o projeto. Estes marcos tornam-se parte importante no projeto, pois o incumprimento destes marcos pode indicar atrasos no projeto.

#### 4.8.3 Sequência de Atividades

Seguidamente, após saber quais as atividades e os *milestones* a cumprir, é necessário sequenciar as tarefas de forma a otimizar o desempenho do projeto. O resultado é um diagrama que representa a relação, a dependência e os limites críticos de variância das atividades, ao longo do projeto. Este diagrama pode ser concebido manualmente ou gerado por *software* de apoio à gestão.

Para a elaboração do diagrama pode-se desenhar diagramas de procedência, diagramas em flecha, gráficos de evolução e técnica de revisão. Atualmente os diagramas mais usados são os de procedência.

Os diagramas de procedência (PDM), como referido anteriormente, são uma ferramenta para a construção de um modelo de sequência das atividades do projeto, sendo as atividades representadas por nós, ligados graficamente por uma ou mais relações de dependência.

As relações de dependência podem são definidas por:

- **Término-Iniciar (*Finish-to-start*):** abrevia-se FS, este tipo de dependência é o mais usado entre atividades. Se uma atividade não puder ser iniciada antes da atividade predecessora ser concluída, uma dependência conclusão-início deverá estar entre essas atividades.

- **Início-Início (*start-to-start*):** abrevia-se SS, este tipo de dependência ilustra um relacionamento lógico em que a atividade sucessora não pode ser iniciada até que uma atividade predecessora tenha sido iniciada.
- **Término-Término (*finish-to-finish*):** abrevia-se FF, ilustra um relacionamento lógico em que uma atividade sucessora não pode terminar até que a atividade predecessora termine.
- **Início-Término (*start-to-finish*):** abrevia-se SF, este tipo de dependência é o menos usado entre as atividades e ilustra um relacionamento lógico em que uma atividade sucessora não pode ser terminada até que uma atividade predecessora tenha sido iniciada.

Após se identificar a relação das dependências, é importante saber que tipos de dependências se podem encontrar na gestão do cronograma. A sequência de atividades é então baseada nas seguintes dependências.

- **Dependência Obrigatória:** Estas são as exigidas legalmente, contratualmente ou inerentes à natureza do trabalho. Frequentemente estas dependências envolvem limitações físicas.
- **Dependência Arbitrada:** As dependências arbitradas são estabelecidas com base no conhecimento das melhores práticas numa área de aplicação específica, onde uma sequência específica é desejada, mesmo que haja outras sequências aceitáveis e que obtenham o mesmo resultado.
- **Dependência Externa:** As dependências externas envolvem um relacionamento entre as atividades do projeto e as não pertencentes ao projeto. Estas dependências normalmente não são controladas pela equipa de projeto.
- **Dependência Interna:** As dependências internas envolvem uma relação de precedência entre as atividades do projeto e estão geralmente sob o controle da equipa de projeto.

#### 4.8.4 Estimativa de recursos das atividades

Seguidamente à sequenciação das atividades, são determinados os tipos e quantidades de recursos necessários. Sendo que, materiais, equipamentos e pessoas são considerados recursos para a gestão de projeto. O gestor de projeto deve planear e coordená-los de forma a evitar os problemas comuns, como a falta de recursos ou a desmobilização dos mesmos para outros projetos.

Novamente, o Project Management Institute, aconselha algumas ferramentas que podem ser usadas para estimar os recursos necessários para o projeto, são elas:

- **Avaliação por Peritos:** Pressupõe o recurso a especialistas nas atividades em causa, para estes emitirem a sua opinião sobre os recursos necessários;
- **Análise de Alternativas:** Consiste em simular diferentes opções referentes à distribuição dos recursos pelas atividades;

- **Dados Estatísticos Publicados:** Em muitos setores de atividade existe informação pública que auxilia na estimativa da necessidade de recursos;
- **Estimativa de Baixo para Cima:** São estimativas do particular para o geral, isto é, esta técnica consiste em estimar os recursos para cada uma das atividades do projeto e seguidamente, estimar para cada pacote de trabalhos do projeto;
- **Software de Gestão de Projeto:** Um dos mais conhecidos e usado é o MS Project, mas existem outros programas que cumprem as mesmas funções, uma vez que, todos eles, são projetados para ajudar na tarefa de Gestão de Projeto, auxiliando assim a encontrar a melhor combinação de recursos.

Deste processo resulta um requerimento de recursos para a realização das atividades e uma estrutura de repartição de recursos por tarefa e pacote de trabalhos do projeto.

#### 4.8.5 Estimativa da duração das atividades

A estimativa da duração das atividades é um passo importantíssimo na gestão de projeto, pois quando se vende um projeto é fornecida uma data de entrega, data essa que terá de ser cumprida sob pena de penalidades contratuais. Para se conseguir estimativas realísticas, a equipa responsável por essa estimativa, deve conhecer a lista de atividades ao detalhe. O Guia Project Management Institute, mais uma vez, indica as ferramentas que auxiliam na estimativa. São elas:

- **Estimativas Análogas:** Esta metodologia pode ser aplicada tanto para estimativa de tempo, mas também de custo, baseando-se em opiniões especializadas e informações históricas;
- **Estimativas Paramétricas:** Realiza-se quando se verificam os relacionamentos entre as variáveis da atividade com as estimativas de tempo e custo. (Ex: €/m<sup>2</sup>);
- **Estimativa a Três Pontos:** Com esta ferramenta, a equipa de gestão de projeto faz uma estimativa otimista, uma pessimista e uma mais provável. A estimativa otimista (O), baseia-se nas oportunidades identificadas, a pessimista (P) baseia-se nos riscos e restrições, a mais provável (M). Podemos aplicar:
  - **Distribuição triangular:**  $(P+O+M)/3$
  - **Distribuição beta:**  $(P+4M+O)/6$

As estimativas baseadas em três pontos com uma distribuição arbitrada, providenciam uma previsão da duração de cada atividade, com a evidência sobre a incerteza à volta da duração expectada.

- **Análise de Reservas:** Esta técnica consiste em incluir reservas de contingência no cronograma do projeto, sendo normalmente uma percentagem da duração da atividade ou através de métodos de análise quantitativa. À medida que as informações sobre o projeto ficam disponíveis, essas reservas podem ser reduzidas ou eliminadas.

#### 4.8.6 Desenvolvimento do Cronograma

O desenvolvimento de um cronograma é o processo de análise relativamente às sequências, durações, necessidades de recursos e restrições das atividades do projeto, criando com esta informação um modelo de cronograma. O grande benefício deste processo é permitir analisar todas as variáveis e com isso criar um modelo de planeamento para completar as atividades do projeto.

Este processo é um processo iterativo, pois o modelo é utilizado para determinar as datas de início e fim de projeto. Após esta determinação deve-se rever e monitorizar estas datas, pois deve-se sustentar um cronograma viável e realista durante todo o projeto.

Para desenvolver o cronograma são necessárias as seguintes ferramentas mais implementadas e aconselhadas pelo Project Management Institute:

- **Análise de Rede do Cronograma:** Esta ferramenta utiliza várias técnicas para desenvolver o cronograma do projeto, como o método do caminho crítico, método da corrente crítica, análises “e se” e o método de otimização de recursos. Após a conjugação destas técnicas é feita uma visão gráfica das atividades e posterior identificação das datas do projeto;
- **Método do Caminho Crítico:** O método do caminho crítico é uma abordagem que permite encontrar, entre tarefas do projeto, aquelas que não têm flexibilidade de datas, devendo ser concluídas dentro de um prazo determinado;
- **Método da Corrente Crítica:** Este método é uma das técnicas usadas na análise da rede do cronograma que tem como fundamento a dependências das atividades, a limitação dos recursos e as margens de contingência. Esta análise determina os *buffers* que se devem adicionar à duração das atividades, ajudando assim na gestão das incertezas;
- **Otimização de Recursos:** Esta técnica é usada para ajustar o cronograma baseando-se na disponibilidade dos recursos. Estes podem ser otimizados usando o nivelamento de recursos, ou a estabilização de recursos, sendo que esta última otimização consiste em acomodar os recursos, modificando as atividades dentro dos tempos e folgas sem alterar o caminho crítico ou as datas importantes do projeto;
- **Compressão do Cronograma:** A compressão do cronograma consiste em reduzir o cronograma do projeto, mantendo o mesmo *scope of supply*, para tal ser possível terá de se aumentar o número de horas de trabalho ou então usar o paralelismo de tarefas, permitindo assim executar as atividades em paralelo invés de serem executadas sistematicamente.

O cronograma do projeto normalmente é apresentado por um gráfico de Gantt, pois a sua interpretação geral é mais intuitiva e de fácil compressão. Essa fácil interpretação é fornecida através de barras ou linhas que representam o espaço temporal e mostram o tamanho do mesmo relativamente a cada tarefa e relativamente a um conjunto de tarefas necessárias para

a realização do projeto. Este gráfico possui também a vantagem de segmentar as tarefas, distribuir responsabilidades, definir prazos de entrega e acompanhar o projeto.

#### **4.8.7 Controlo do Cronograma**

O controlo do cronograma baseia-se na atualização e monitorização do projeto. A análise das variâncias relativamente ao planeamento base é fundamental, pois se o seu valor se desviar para além dos limites pré-estabelecidos, é necessário tomar ações corretivas e preventivas necessárias.

Algumas das causas mais comuns dos desvios são os atrasos devido à burocracia, os atrasos devido à estimativa irrealista da realização do conjunto de atividades e os atrasos devido à falta de recursos.

Para minimizar os desvios é fundamental realizar uma boa análise de risco e um bom planeamento de projeto, devendo-se atualizá-los cada vez que existe uma mudança no projeto. Se for verificado que não é mais possível cumprir os prazos estabelecidos, é necessário informar formalmente as partes interessadas e agendar novos prazos.

## **5 Gestão de Projeto de Parques Eólicos**

### **5.1 Introdução**

Neste capítulo será ilustrado como a Enercon realiza a gestão de projetos, as metodologias que utiliza e os processos que, na sua ótica, são os ideais para que se atinja uma gestão de projetos de excelência.

As metodologias infra ilustradas, estão em constante mutação, pois pertencem a um ciclo de melhoria contínua, ao qual, todos devem seguir e participar construtivamente. No entanto, é propositadamente criado um grau de liberdade no guia interno, para que cada gestor aplique as suas qualidades e ferramentas ao projeto.

### **5.2 Modelo de Gestão de Projeto de Parques Eólicos**

Devido à demanda atual por energia limpa, a gestão de projeto continuará a crescer, assim como todo o departamento envolvente. Esta é uma oportunidade para mostrar a importância da gestão de projeto no contributo para o aumento do valor acrescentado, tanto para a empresa, como para o cliente. Para além disso, o departamento de Gestão de Projeto, assume a responsabilidade total dos projetos de parques eólicos.

A Gestão de projeto na Enercon segue um modelo que se aplica em todos os projetos, independentemente da sua dimensão. O modelo que será apresentado foi baseado no PM-Manual, que é um manual de gestão, criado exclusivamente e adaptado à empresa e ao departamento. Este modelo dá uma visão generalista do processo de gestão de projeto conjugadamente com outros processos e departamentos.

A Tabela 6 serve para descrever o processo e o ciclo de vida de um projeto, mostrando de uma forma muito simples e generalista as fases e os marcos importantes de um projeto.

| Fases do Projeto              | Iniciação                                         | Planeamento                          | Implementação e Controlo                                                                     |                                                            | Encerramento do projeto                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Fases do Parque Eólico</b> | -Criação do Contrato;<br>- Planeamento preliminar | -Planeamento detalhado;<br>-Compras; | Construção de:<br>-Estradas;<br>-Plataformas;<br>-Fundações;<br>- Infraestruturas elétricas; | Montagem:<br>-Mecânica;<br>-Elétrica;<br>Comissionamento   | <i>Taking over</i><br>Encerramento do projeto |
| <b>Marcos Importantes</b>     | -Pedido pelo departamento de vendas               | -Assinatura do Contrato              | -Acesso ao Parque                                                                            | -Parque Pronto para instalação<br>-Conclusão da instalação | <i>-Taking Over</i>                           |

**Tabela 6- Fases na construção de um parque eólico**

### 5.2.1 Fase de Iniciação do Projeto

A fase de iniciação define o sucesso ou a falha do projeto, pois é importante assegurar uma cooperação próxima entre o Gestor do Projeto, o departamento de vendas, o departamento da componente elétrica e o Gestor de Projeto Comercial. Não se pode negligenciar o trabalho em equipa, pois em consequência, podem resultar planos irrealistas na realização do contrato, que “condenam” à partida qualquer projeto, quer do ponto de vista económico como técnico.

#### 5.2.1.1 Planeamento Preliminar

O departamento de vendas fornece os documentos técnicos ao departamento de Gestão de Projeto, que é responsável por, durante esta fase, verificar todos os requisitos e projetar todas as contas e quantidades que se irão gerar relativamente ao projeto. Por outro lado, e consequência da fabricação *just in time*, a previsão de fabricação e entrega dos componentes do aerogerador, são decisivos na definição da data de entrega para a oferta comercial.

De seguida, e com base na informação disponível e experiência em instalações semelhantes, é definido um cronograma contratual. Para a elaboração deste, torna-se indispensável saber o tempo para o cumprimento de cada tarefa, identificar os riscos à realização dessas tarefas e planejar, com a cooperação do departamento de vendas, os marcos importantes e os prazos de entrega.

O próximo passo é a criação de uma estimativa de custo, nesta fase inicial essa estimativa tem de assegurar que durante a implementação, os gastos reais terão de ser menores do que a estimativa inicial, pré-contratual. Ao mesmo tempo, este orçamento tem de ser o mais baixo possível, para competir com a concorrência de mercado.

A identificação dos riscos é outro fator a ter em conta na iniciação de um projeto, uma vez que estes podem influenciar o projeto de diversas formas, são independentes para cada projeto e podem ter um efeito muito significativo no budget final do projeto. Neste momento identificam-se os riscos e define-se uma estratégia para lidar com eles, que passa por assumir os riscos, evitá-los ou transferi-los.

O último passo desta etapa é verificar os documentos do contrato, uma vez que eles podem destruir a margem de lucro logo à partida.

#### **5.2.1.2 Criação do Contrato**

A celebração de um contrato, nada mais é do que um acordo entre duas partes interessadas no projeto, onde as fronteiras nas tarefas, as responsabilidades, os riscos e o *scope of supply* são bem definidos.

É com base neste contrato, que toda a gestão de projeto se baseia, pois, as condicionantes de tempo, qualidade e custo são limitados e carecem de bastante atenção para que o projeto seja bem executado.

Uma das questões mais sensíveis que são descritas no contrato é a questão dos *bad weather days*, que de uma forma simplista, trata-se da inclusão do tempo de paragem, na montagem da máquina, devido a condições climáticas desfavoráveis, que estão incluídos no contrato. Se houver a necessidade de interromper a montagem, devido a condições climáticas adversas, mais dias do que os previstos contratualmente, deve ser explícito, o custo de cada dia de paragem, após o limite estipulado.

A partir do momento de assinatura de contrato, o projeto entra na fase de planeamento.

#### **5.2.2 Fase de Planeamento do Projeto**

A fase de planeamento começa após a celebração de contrato. Primeiramente é necessário rever e refinar as estimativas feitas na fase anterior. O grande objetivo é escolher a

sequência ideal do projeto, tendo em conta o contrato, definindo assim um padrão que servirá de referência para a comparação na fase posterior.

Como referido anteriormente, é essencial o trabalho em equipa, tal como nas outras fases, esta também não dispensa reuniões regulares com todos os intervenientes e interessados do projeto. Estas reuniões também servem para evitar trabalho redundante, pois com boa comunicação é mais fácil gerir e atribuir tarefas à equipa.

Seguidamente tem de se verificar o *scope of supply*, se necessário, suplementá-lo com os anexos correspondentes, até que esteja bem definido e delineado, pois a falta de clareza poderá resultar em atrasos e custos adicionais.

Nesta fase cria-se um cronograma de projeto interno, embora neste momento já exista um cronograma contratual, é necessário a criação de um mais detalhado, onde seja possível analisar as interdependências, as interfaces, os prazos críticos e simular de cenários otimistas e pessimistas. Este cronograma é constantemente atualizado, servindo de base para a discussão de resultados em reuniões intermédias, com o objetivo de minimizar os desvios relativamente ao cronograma padrão.

Durante todas as fases, o risco é uma variável não constante, forçando a uma reanálise sucessiva, como tal, nesta fase é necessário fazer uma reavaliação dos riscos, usando ferramentas próprias.

A otimização de custos, é também importante e como tal carece de estudo prévio, com cooperação de todos os departamentos, deve-se escolher e negociar os trabalhos subcontratados, tendo sempre em consideração, para a seleção das empresas, o preço, a capacidade de trabalho e cumprimento de prazos.

Após todos os passos cumpridos, deve-se organizar uma nova reunião com o intuito de encerrar a fase de planeamento e iniciar-se a fase de construção.

### **5.3 Fase de Implementação e Controlo do Projeto**

Na gestão de projeto, neste setor de atividade, a fase de implementação e controlo baseia-se na implementação do plano previamente feito, na fase do planeamento. Fundamentalmente trata-se de coordenar e liderar as equipas envolvidas no projeto. Para além disso, nesta fase, o gestor de projeto, juntamente com a sua equipa, deve identificar e comunicar os desvios em relação ao plano padrão e implementar medidas corretivas, para tentar minimizar ao máximo as suas consequências.

Nesta fase, deve-se assegurar reuniões regulares com a equipa, no local da construção e com o cliente, com o objetivo de melhorar a comunicação entre todos os intervenientes, mas também, obter informação de qualidade. Numa fase de iniciação a experiência ajuda na implementação de medidas de controlo.

O gestor de projeto deve realizar relatórios periódicos, que descrevam o estado e evolução do projeto. Esta medida faz parte das medidas de controlo, pois quanto mais cedo a equipa for avisada, pelos indicadores, dos perigos eminentes, melhor a equipa se consegue adaptar as circunstâncias, de forma a impedir que haja grandes desvios do plano padrão.

Na implementação do projeto, o Gestor de projeto pode-se definir como “controlador” ou “piloto”, pois uma das suas grandes funções é iniciar e coordenar medidas apropriadas que permitam comparar o estado atual de um projeto e o plano pré-definido, escolhendo assim as alternativas que melhor se adequam. Por isso, o “piloto” tem de ser proativo em evitar problemas em vez de os tentar corrigir.

Para poder tomar medidas, o Gestor de Projeto deve conhecer e monitorizar a execução de trabalhos, através de relatórios diários. Só com essa informação é que se torna possível prever medidas e consequentemente prever e contingenciar o impacto financeiro e o impacto no cronograma, quer seja por atrasos ou retrabalho.

Na gestão de projeto, um dos departamentos mais sensíveis, principalmente na fase de implementação e execução é o departamento de Higiene e Segurança, pois o projeto corre bem se não houver acidentes pessoais. Esse departamento deve assegurar o cumprimento das normas de segurança de toda a equipa, evitando assim, os acidentes ou reduzir os danos causados por eles.

No término do projeto, regra geral, existem sempre não conformidades, algumas graves outras menos graves. As que comprometam a energização da máquina devem ser logo corrigidas, as menos relevantes devem ser intervencionadas o mais rápido possível.

## **5.4 Encerramento do Projeto**

O projeto não acaba com o *tacking over*, a fase de encerramento serve para intervencionar o projeto, de forma fechar todas as não conformidades. De seguida a equipa de Gestão de Projeto deve fazer uma revisão do projeto, de forma a sintetizar o que correu bem e o que correu menos bem, para que em projetos futuros a abordagem seja diferente. A esta sintetização de projetos e resultados, denomina-se *lessons learned*.

# **6 Exemplo de Planeamento de Construção de um Parque Eólico**

## **6.1 Introdução ao Exercício**

Este capítulo tem como objetivo demonstrar, de uma forma simplificada, a aplicação das teorias mais usuais de Gestão de Projeto e dar a compreender a complexidade organizacional exigida na gestão de projetos no setor eólico.

Este exercício será uma simulação de um pedido de estudo e cotação, para a construção de um parque eólico de pequena dimensão.

### 6.1.1 Definição do *Scope of Supply*

A instalação do parque eólico compreende a realização dos seguintes estudos, obras e tarefas:

- Elaboração dos projetos de execução das obras;
- Elaboração do plano de higiene, saúde e segurança;
- Construção das vias de acesso, plataformas de montagem, fundações dos aerogeradores, vala de cabos, subestação elétrica e respetiva linha aérea;
- Elaboração do plano de qualidade;
- Fornecimento, montagem e ensaio dos aerogeradores;
- Fornecimento, montagem e ensaio das instalações elétricas.

### 6.1.2 Descrição Geral do Parque

Abaixo estão referenciados os pontos mais relevantes à descrição do local de implementação do projeto.

- **Localização**

O parque eólico de Arnal, localiza-se no distrito de Vila Real e abrange o concelho de Vila Marim.

- **Centros Populacionais**

Não existe qualquer habitação na área de implementação do parque. Os aglomerados populacionais mais próximos correspondem às povoações de Arnal e Lamas de Olo, cuja distância é superior a 700 metros.

- **Rede Viária**

A acessibilidade ao parque tem como origem a autoestrada A4, direção Porto- Vila Real. Na saída 20 tomar a N304 em direção a Mondim de Basto. Na N304 entrar na Rua do Cruzeiro e seguidamente continuar até à entrada do Parque Eólico do Outeiro. Seguidamente tomar a direção da Entrada do Parque Eólico de Arnal.

- **Caracterização Geral do Terreno**

Do ponto de vista Geomorfológico, a área de estudo situa-se próxima do centro do Parque Natural do Alvão, avizinhand-se da Albufeira da Barragem Cimeira. Esta zona é caracterizada pela elevada altitude e pela longa bacia granítica. No local de implantação do Parque, predomina o Granito biolítico, pós-tectónico.

- **Características Gerais Ambientais**

O Parque Eólico de Arnal, onde se prevê a implantação do projeto, avizinha-se dos parques eólicos do outeiro, de Vila Cova e de Pena Suar.

O parque eólico necessitará da construção de uma subestação e de uma linha elétrica de 60 kV com 3,5 km de extensão de ligação à subestação do parque eólico do Outeiro.

A área definida para o desenvolvimento do projeto, caracteriza-se essencialmente pelas suas abruptas encostas, com grandes declives, principalmente a voltada Sul.

O local previsto para a implantação é constituído por uma superfície com altitudes que variam entre os 1071m e os 1167m.

A área do parque eólico de Arnal possui uma capacidade de drenagem pouco expressiva, dado tratar-se de uma zona onde é abundante a presença de pequenos cursos de água, afluentes do rio Olo.

A zona prevista para implantação está maioritariamente dominada por vegetação arbustiva baixa e povoamentos florestais de pinheiros.

- **Composição Geral do Parque**

O conjunto de aerogeradores serão dispostos ao longo das linhas de cumeada, sendo cada aerogerador associado a um posto de transformação interno.

Os aerogeradores serão ligados entre si, a nível dos respetivos postos de transformação e a um posto de corte, monobloco, de 30kV, através de uma rede de média tensão, subterrânea, constituída por cabos monopolares secos dispostos em vala.

A vala de cabos deve incorporar também, se modo a estabelecer um elétrodo de Terra, através da instalação de cabo de cobre sem isolamento, assim como a colocação do cabo de fibra ótica que interliga o computador de comando centralizado (SCADA) do edifício de controlo, às máquinas.

- **Capacidade Energética a Instalar**

Pretende-se dotar o Parque eólico do Arnal com uma capacidade energética de 21 MW.

## 6.2 Planeamento

Neste subcapítulo pretende-se planejar uma resposta a um pedido de cotação, para tal seguir-se-ão os seguintes passos de forma a reunir o máximo de informação possível.

### 6.2.1 Verificar o Pedido

Ao realizar-se um pedido de estudo e cotação, é fundamental verificar o pedido ao detalhe, pois é maioritariamente nesta fase que se define o sucesso ou o fracasso do projeto.

Na elaboração de uma resposta, inicia-se um processo de cooperação entre departamentos, começando pela análise documental fornecida pelo cliente.

### 6.2.2 Especificidades do Projeto

Cada projeto possui as suas especificidades e neste subcapítulo pretende-se estudar as características que o definem, para tal irá ser abordada escolha do local, realizado um estudo dos ventos, será feita uma análise de condicionantes ao projeto, entre as quais serão apresentadas as mais relevantes para o seguinte passo, que é a definição do *layout* do parque eólico.

#### 6.2.2.1 Escolha do Local

Antes de se iniciar um projeto e especialmente neste setor de atividade, a pergunta “Onde?” é fundamental e de resposta complexa. Nos temas seguintes serão abordados os fatores que fundamentam a escolha de localização de um parque eólico e simultaneamente aplicando esses mesmos fatores ao exercício enunciado.

##### 6.2.2.1.1 Estudo dos Ventos

Para o estudo de ventos de um determinado local são utilizados vários métodos de medição, simulação ou avaliação do recurso eólico. A metodologia mais adequada deverá ser analisada por um especialista experiente, com o intuito de determinar com precisão os potenciais locais de produção de energia eólica.

De salientar que os dados para o estudo de ventos terão de ser recolhidos com o auxílio de uma ou mais torres meteorológicas, equipadas com anemómetros, cata-ventos, sensores de pressão atmosférica e sensores de temperatura, ou uma estação meteorológica baseada na tecnologia “*Lidar*”.

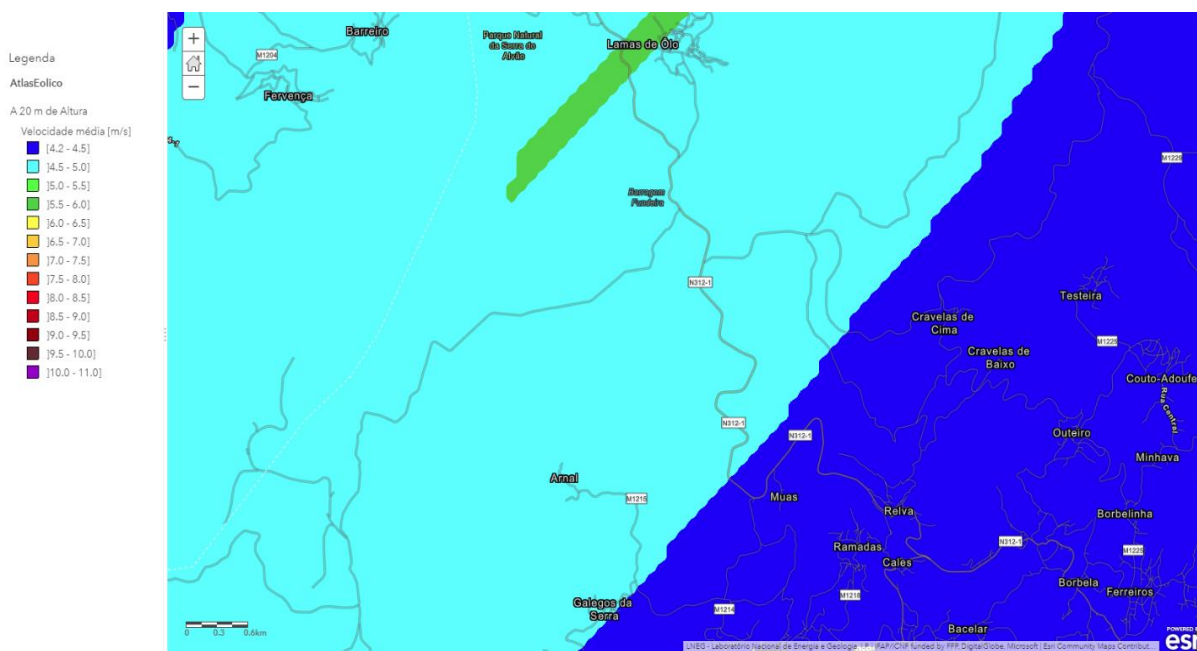
Após a recolha dos dados de vento, com o auxílio de programas como o “*WindPro*”, será determinado o potencial eólico, determinado o layout ótimo, selecionado o aerogerador mais adequado e estimada a sua produção anual.

Para o exercício do parque eólico do Arnal foi analisada um atlas eólico, disponibilizado pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), no qual é possível

verificar, para as alturas de 20 m e 80 m, a velocidade do vento em [m/s] e estimar a produção eólica equivalente à potência nominal em [h/ano].

Na Figura 19 e na Figura 20 está representado o atlas eólico para o parque do exercício enunciado, onde se pode verificar, respetivamente, a média da velocidade do vento para as alturas de 20 e 80 metros. Como se pode observar, para uma altura de 80 metros, que corresponde, aproximadamente, à altura do gerador da máquina, a velocidade do vento no local do parque, está compreendida entre 6.5-7.5 [m/s].

Na Figura 21, representam-se as horas de produção eólica por ano, equivalente à potência nominal. Como se pode verificar, no local de implantação do parque, e para uma altura de 80 metros, a produção equivalente está compreendida entre 2800-3200 [h/ano]. Tendo como referência as 8765 horas anuais, podemos afirmar que os aerogeradores irão ter uma produção equivalente à potência nominal durante 37% do ano, sendo este um bom resultado, uma vez que, todos os parques que possuírem mais de 3000 [h/ano] de produção equivalente à potência nominal, são parques economicamente viáveis.



**Figura 19- Velocidade média do vento a 20 metros de altura**

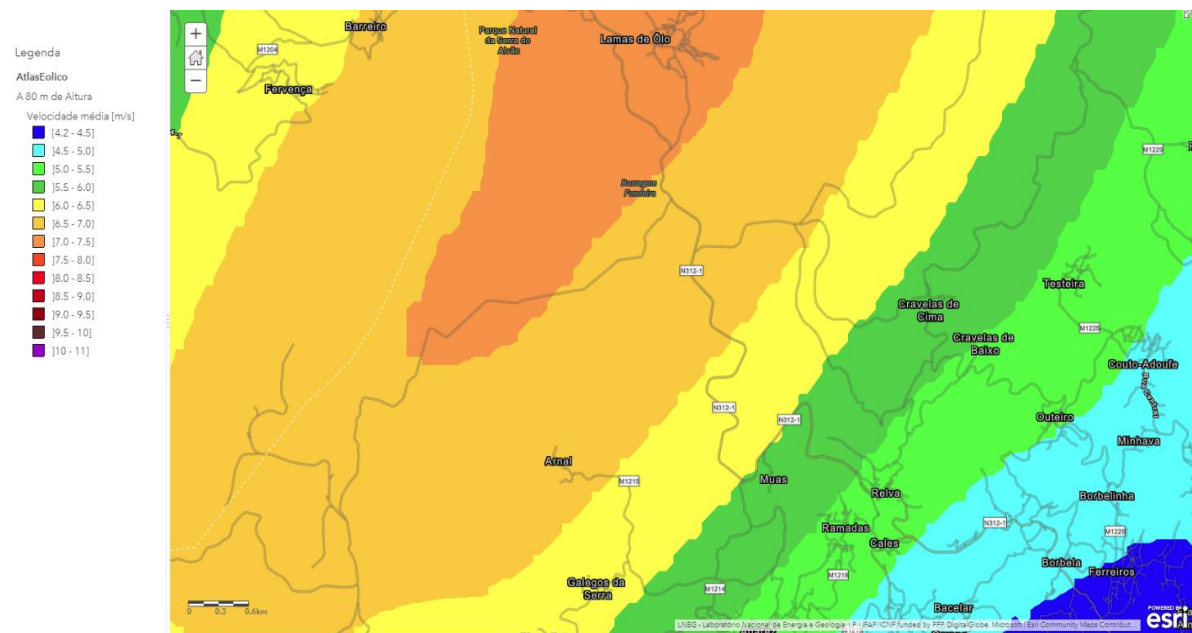


Figura 20- Velocidade média do vento a 80 metros de altura

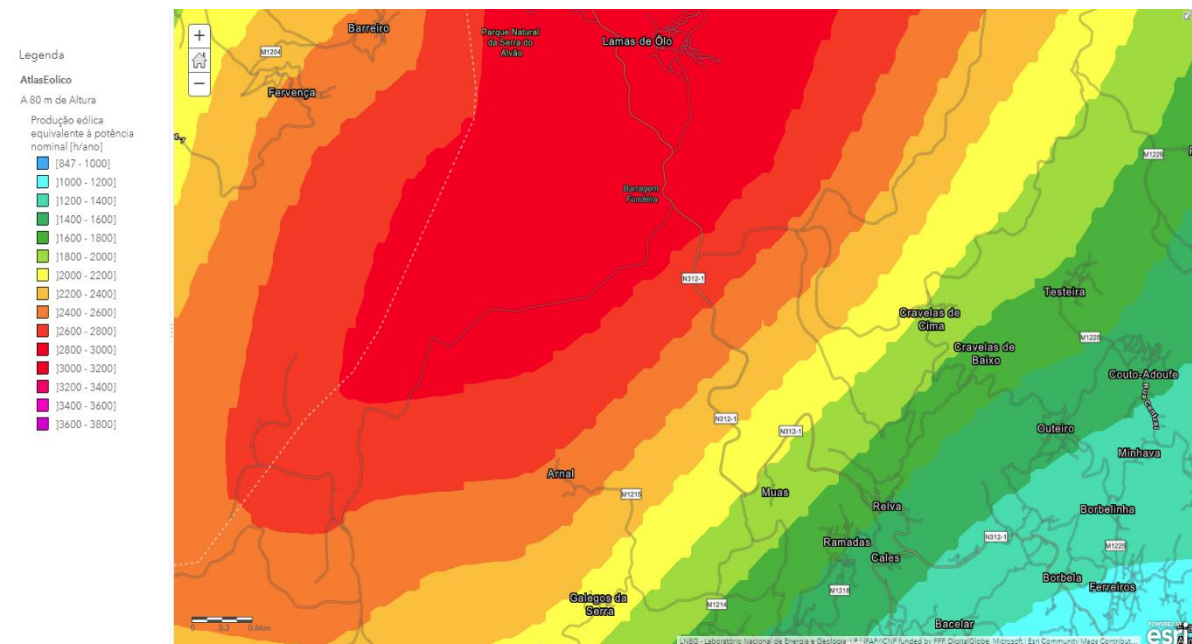


Figura 21 - Produção eólica equivalente à potência nominal

### **6.2.2.2 Análise de Condicionantes**

Um projeto de um parque eólico enfrenta vários desafios ao longo do seu ciclo de vida, pois todas as incógnitas são condicionantes ao projeto. Esta análise é fundamental para o sucesso do mesmo, pois é necessário assegurar a aquisição ou aluguer dos terrenos de implantação do projeto, é necessário assegurar a estabilidade geológica de todo o projeto, assegurar a viabilidade da construção dos acessos ao parque, assegurar a ligação à rede elétrica nacional e analisar impacto do projeto relativamente ao ambiente e população na vizinhança.

Neste capítulo tentar-se-á explicitar o processo de análise das condicionantes de um projeto de parques eólicos, aplicando essa análise ao exercício do parque eólico do Arnal.

#### **6.2.2.2.1 Estudo de Impacto Ambiental**

Tal como qualquer outra construção civil, é necessário um licenciamento de construção e tal só é possível com a aprovação de um estudo de impacto ambiental. Este estudo terá de abranger todo o ciclo de vida do projeto, isto é, a sua construção, a sua operação e manutenção e por fim, o desmantelamento.

O estudo de impacto ambiental, consiste em avaliar os efeitos indesejáveis, resultantes da construção do parque eólico e providenciar, se possível, medidas de recuperação e minimização do impacto nas áreas de construção, relativamente à fauna e flora autóctones, bem como às migrações e nidificações de espécies protegidas. Este estudo visa avaliar também, a existência de interesses patrimoniais a preservar, estas áreas, se presentes na área de implantação do projeto, terão de ser delimitadas e preservadas.

Relativamente ao estudo de impacto ambiental, para o exercício em causa, não é viável a realização do mesmo completo, pelo que, após bastante pesquisa, decidiu-se extrapolar o estudo de impacto ambiental do parque eólico de Vila Cova, que se avizinha da zona em estudo, para o exercício do parque eólico de Arnal.

Este estudo abrange a monitorização e análise do impacto do projeto na avifauna, na população de quirópteros e lobos.

O relatório de monitorização da avifauna, conclui que as aves que poderão sofrer um maior impacto com a construção do projeto são as que possuem uma altura de voo coincidente com as pás dos aerogeradores, como por exemplo as espécies das famílias *Accipitridae*, *Falconidae*, *Apodidae* ou *Hirundinidae*. Como a grande maioria das espécies detetadas na área de implantação do projeto voa a baixa altitude, prevê-se uma baixa mortalidade associada à construção do projeto.

Segundo o relatório de monitorização de quirópteros, conclui-se que o valor de abundância destas espécies é baixo, mesmo tendo condições favoráveis para o seu avistamento, apenas foram detetados um total de 4 espécies e 10 complexos de espécies.

Relativamente à monitorização do lobo na área de estudo, o relatório conclui que a pouca presença da espécie junto a área de construção não necessita de mais medidas de mitigação do impacto para além da cessão dos trabalhos de construção entre o por-do-sol e o nascer-do-sol.

Segundo o Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução, o parque eólico necessitará de algumas medidas de minimização e compensação de impacto ambiental, tais como:

- Promover a balizagem aeronáutica diurna e noturna;
- Não utilizar materiais impermeabilizantes nos acessos e nas plataformas;
- Concentrar no tempo os trabalhos de obra, que causem maior perturbação, nomeadamente o uso de explosivos e betonagem das fundações;
- Os trabalhos de limpeza e movimentação de terras deverão ser programados de forma a evitar que os solos fiquem descobertos;
- Não é possível realizar trabalhos de construção durante a noite e a utilização de explosivos está restrita entre as 10h e as 17h;
- Informar os trabalhadores sobre as consequências de uma atitude negligente relativamente às medidas minimizadoras;
- Alertar as povoações próximas para eventuais condicionantes na circulação viária;
- Definir uma área de estaleiro restrita, esta não deverá ser impermeabilizada, exceto a área de armazenamento de substâncias poluentes;
- Evitar a contaminação dos solos por derrames, garantindo uma boa manutenção e estado das máquinas utilizadas em obra;
- Em dias secos e ventosos, deverão ser utilizados sistemas de aspersão nas áreas de circulação;
- Assinalar e vedar áreas a salvar;
- Possuir material afeto ao combate a eventuais incêndios;
- Os trabalhos de desmatagem e decapagem devem ser limitados às áreas estritamente necessárias;
- Apenas abater árvores na presença do responsável pelo acompanhamento ambiental de obra;
- Deverá ser guardada toda a terra vegetal proveniente da decapagem, para posterior uso;
- Condicionar a utilização de explosivos ao uso de microrretardadores ou outros dispositivos que permitam realizar explosões controladas;
- Em caso de ser necessário utilizar terras de empréstimo, deverá ser dada atenção a sua origem, de forma a não introduzir espécies invasoras;
- O armazenamento dos combustíveis deverá ser feito em recipientes estanques e sobre bacias de retenção.

#### **6.2.2.2.2 Estudo de Impacto Sonoro**

A poluição sonora é uma das grandes condicionantes para o projeto, relativamente ao meio ambiente, visto que, o impacto provocado pelo movimento do aerogerador, em diferentes horas do dia e em diferentes meios, é um impacto a ter e conta e necessita de aprovação

favorável e de um plano de monitorização do ambiente sonoro, para que seja possível o licenciamento do parque eólico.

Para cada tipo de máquina, existe um limite, tanto a nível sonoro quer a nível de ritmos de baixa frequência, que deve ser verificado, recorrendo a medições na vizinhança do parque eólico.

Durante a fase de planeamento e projeto, ter-se-á de criar mapas de curvas isófonas, que enquadram o parque eólico relativamente ao seu nível sonoro. O objetivo destes mapas é obter o resultado da sobreposição do ruído de várias máquinas do parque eólico, e se for o caso, identificar as áreas onde o nível de ruído seja superior ao limite recomendado e agir de forma a minimizar esse impacto, tal pode ser feito através da realocação da máquina, alteração do tipo de pás do aerogerador ou até a alteração do tipo de máquina.

Se por algum motivo, as autoridades locais ou população exigir, e perante um estudo independente, podem ser impostas condições, como a redução sonora durante a noite, reduzindo a velocidades das pás durante este período.

Relativamente ao parque eólico do Arnal, novamente, como não é possível realizar um estudo de monitorização do ambiente sonoro, recorrer-se-á a extrapolações dos dados do Estudo Acústico do parque eólico de Vila Cova.

O Estudo de monitorização sonora, consiste em simular e verificar através de amostragens, as condições mais críticas de funcionamento, considerando a potência máxima do aerogerador e tendo em conta a orientação dos ventos que favorece a propagação das ondas sonoras relativamente aos pontos de amostragem.

O modelo de análise utilizado, permite obter a distribuição espacial dos indicadores de ruído, relativamente aos recetores de som, instalados estrategicamente nos locais mais sensíveis da vizinhança.

A análise destes indicadores, afirma que se prevê que um local não cumpra os requisitos de conformidade, pois o critério de incomodidade e os valores dos diferenciais, são significativos, ultrapassam os valores limite em todos os períodos de referência, nomeadamente no período da noite. Os outros 10 locais de amostragem cumprem todos os limites impostos pelo Regulamento Geral do Ruído. De salientar que, neste estudo se encontra contemplado o ruído proveniente dos parques eólicos adjacentes.

Uma das medidas para minimizar este impacto será a utilização de barreiras acústicas naturais, mais concretamente a plantação de árvores autóctones na direção mais desfavorável do ponto que não cumpre o regulamento.

#### **6.2.2.2.3 Efeito Sombra**

A rotação das pás do aerogerador, pode provocar uma sombra intermitente e incomodativa, nas janelas dos edifícios vizinhos ao parque. Para evitar tal situação, é exigido

um estudo do efeito de sombra, onde se deve analisar os locais onde se projeta a sombra, identificando as horas e as alturas do ano mais críticas para a projeção da mesma. O software *WindPRO*, possui um módulo para a análise de sombra, capaz de gerar um calendário de sombra, que especifica exatamente o horário e as datas em que a sombra atinge a fachada de todos os edifícios da vizinhança.

Para o Parque Eólico do Arnal, visto não ser possível realizar esse estudo através do *WindPro*, em alternativa recorreu-se à análise do Layout em 3 dimensões, em diferentes horários e estações do ano, no programa *InfraWorks* da *Autodesk*.

Neste caso, foram analisados os aerogeradores mais próximos da população de Arnal, e constou-se que, o máximo da projeção da sombra ocorre no dia 21 de julho às 18:26, para o aerogerador número 8, como se pode verificar na imagem (Figura 22). Analisando esta projeção máxima, conclui-se que esta não coincide nem interseja qualquer edificação vizinha.

Caso uma sombra, com movimento, intercete uma edificação vizinha, não é motivo para descartar a viabilidade de construção naquele local, embora, o aerogerador tenha de ser equipado com um sensor, conectado ao sistema de controlo da máquina, para a parar, quando existe possibilidade da criação destas sombras. Paragem esta, que pode demorar cerca de 10 a 20 minutos (Wizelius, 2006).



**Figura 22 - Projeção máxima da sombra do aerogerador mais próximo da população**

#### **6.2.2.2.4 Efeito Esteira**

Se houver a intenção de instalar mais do que uma máquina no mesmo local, há que ter em mente que isso irá prejudicar a produção das mesmas. No entanto, este impacto depende sempre das distâncias entre aerogeradores e da direção do vento. A esteira forma-se após a passagem do vento no primeiro aerogerador, como consequência, o fluido, neste caso o ar, fica turbulento e diminui a sua velocidade, voltando completamente à sua velocidade

uniformemente distribuída passados vinte diâmetros do rotor após a passagem do primeiro aerogerador, este fator deve ser tomado em conta na hora de definir o layout para otimizar a rentabilidade do investimento, pois ao evitar expor a máquina a turbulência constante, terá impacto a nível de desempenho bem como na longevidade da máquina.

Para minimizar o feito esteira, ilustrado na Figura 24, e como não é viável construir um parque onde os aerogeradores estão distanciados vinte diâmetros do rotor, com tal, é normal aceitar algumas perdas de eficiência por efeito esteira e espaçar as turbinas a uma distância de cinco diâmetros de rotor, na direção preferencial do vento e três diâmetros, na perpendicular, como se ilustra na Figura 23. Com estas medidas, aceita-se uma perda no desempenho da máquina que ronda os 5%.



Figura 24- Efeito de esteira no mar do Norte (*The Civil Engineer*, 2020)

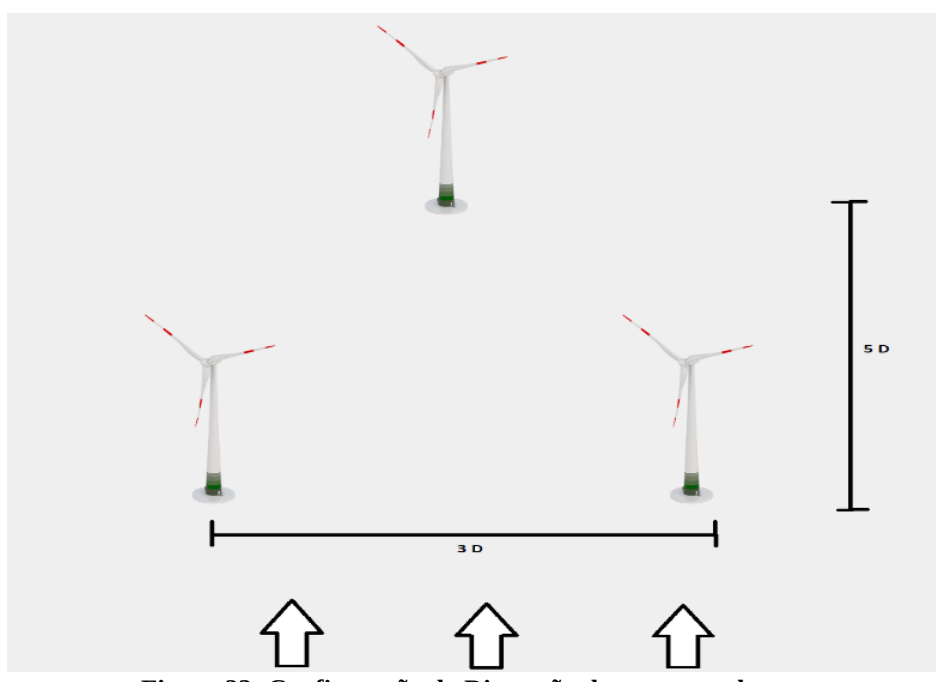


Figura 23- Configuração da Dispersão dos aerogeradores

### 6.2.3 Definição do Layout

Após a análise de todas as condicionantes à construção de um parque eólico, segue-se o posicionamento otimizado dos aerogeradores, com o objetivo de extrair o maior rendimento possível durante todo o ciclo de vida da máquina.

Os programas de eleição, atualmente, para esta análise são, o WindPro e o Windfarmer, que permitem estudar, de forma iterada, o layout mais adequado a cada situação, de uma forma eficiente.

Este estudo de localização ótimo é sempre um compromisso entre rendimento energético, acessos ao local, ligação à rede, possibilidade de licenciamento e rentabilidade económica.

Para o projeto do parque eólico do Arnal, como não é possível utilizar os softwares supramencionados, bem como não é função do Gestor de Projeto fazer esse estudo, contudo, sendo este exercício meramente académico, realizou-se uma otimização de layout, recorrendo apenas a cartas de vento, (Figura 20) e as boas práticas de distanciamento entre aerogeradores de forma a evitar o efeito de esteira, como se pode observar na Figura 23.

#### 6.2.3.1 Seleção do Aerogerador

Com base nas premissas de dimensionamento e condicionantes supramencionadas, que classificam a zona de implementação do projeto em classe 1, relativamente à velocidade média de vento, decidiu-se selecionar o aerogerador E-92 da Enercon, com a configuração de torre de 85 metros de altura, cuja potência nominal é de 2,35 MW por máquina, apresentando a seguinte curva de potência ilustrada no Gráfico 1.

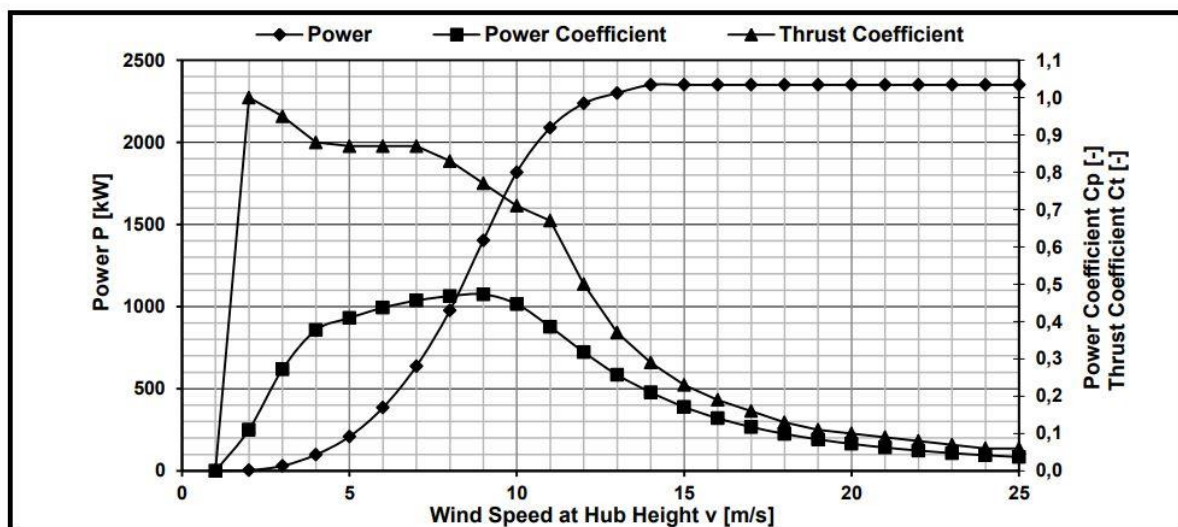


Gráfico 1- Curva de potência do Aerogerador E-92 (Wind Park Ferrum , 2020)

O Gráfico 1, apresenta a evolução da potência (KW) em função da velocidade do vento (m/s), podendo-se observar que o aerogerador começa a trabalhar a partir do momento que o vento atinge os 2 m/s, entrando em modo segurança à velocidade do vento de 25 m/s .

No mesmo gráfico, pode-se observar que existe o controlo de potência aerodinâmico que, neste caso, regula o ângulo das pás relativamente à direção do vento, pois o coeficiente de potência ( $C_p$ ), diminui por forma a que haja uma permanência do aerogerador na sua potência nominal.

Este gráfico também nos dá a conhecer a eficiência na conversão energética do vento, pois através do ( $C_p$ ), equação **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, é possível observar que o seu máximo, para este aerogerador, ronda os 0.46, como se pode verificar no **Gráfico 1** o que equivale a 82% do ( $C_p$ ) teórico máximo possível, que é aproximadamente 0.59 (Limite de Betz).

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (3)$$

#### 6.2.3.2 Definição do Layout em 2D

O Layout 2D do parque eólico do Arnal que se apresenta na Figura 25 foi construído com auxílio do programa AutoCAD. Este ilustra os caminhos a serem utilizados, os caminhos a melhorar e a construir, mostrando a localização exata dos aerogeradores, da subestação e as dimensões e especificações das plataformas requeridas.

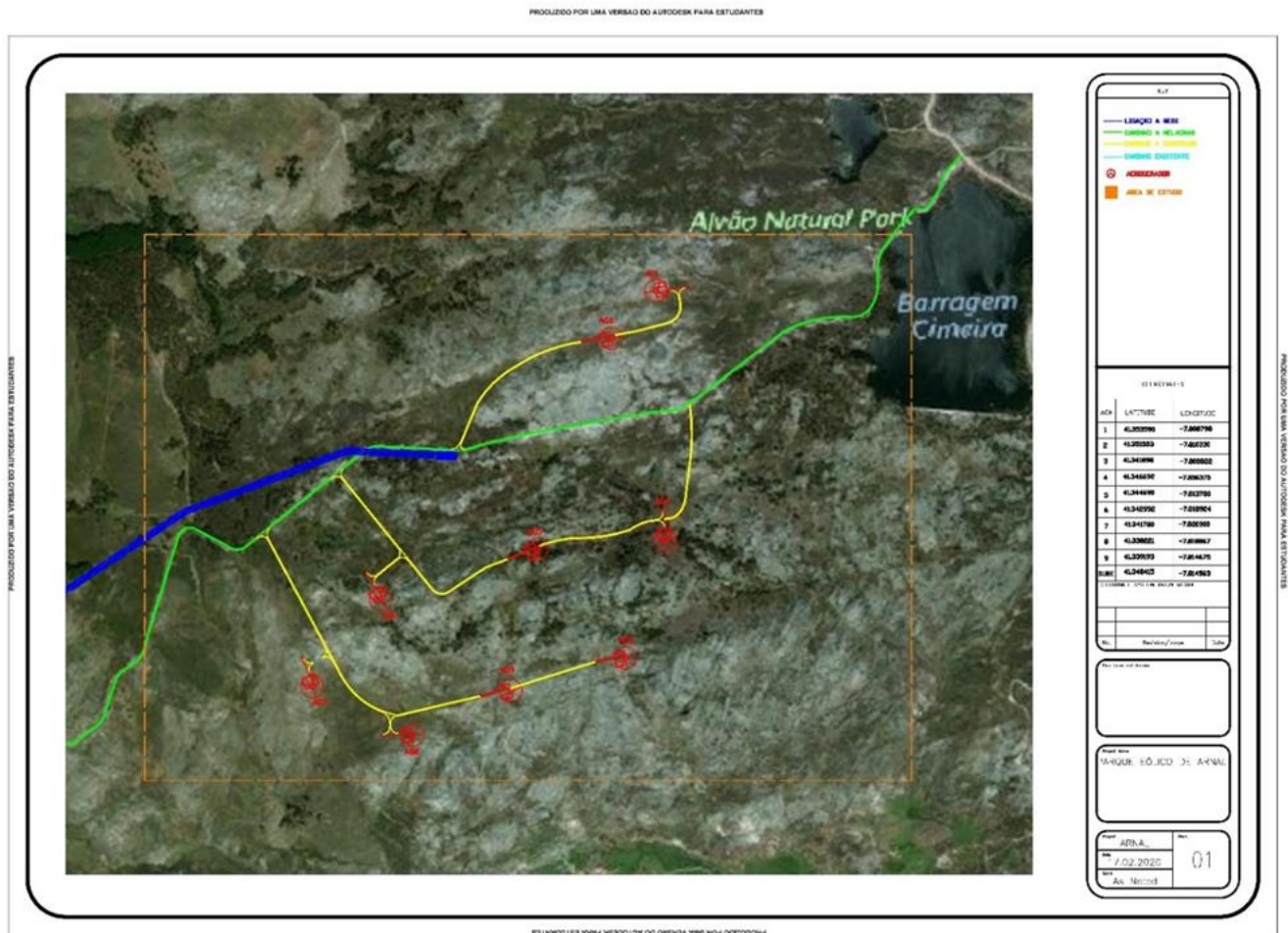


Figura 25- Desenho do Layout em 2D

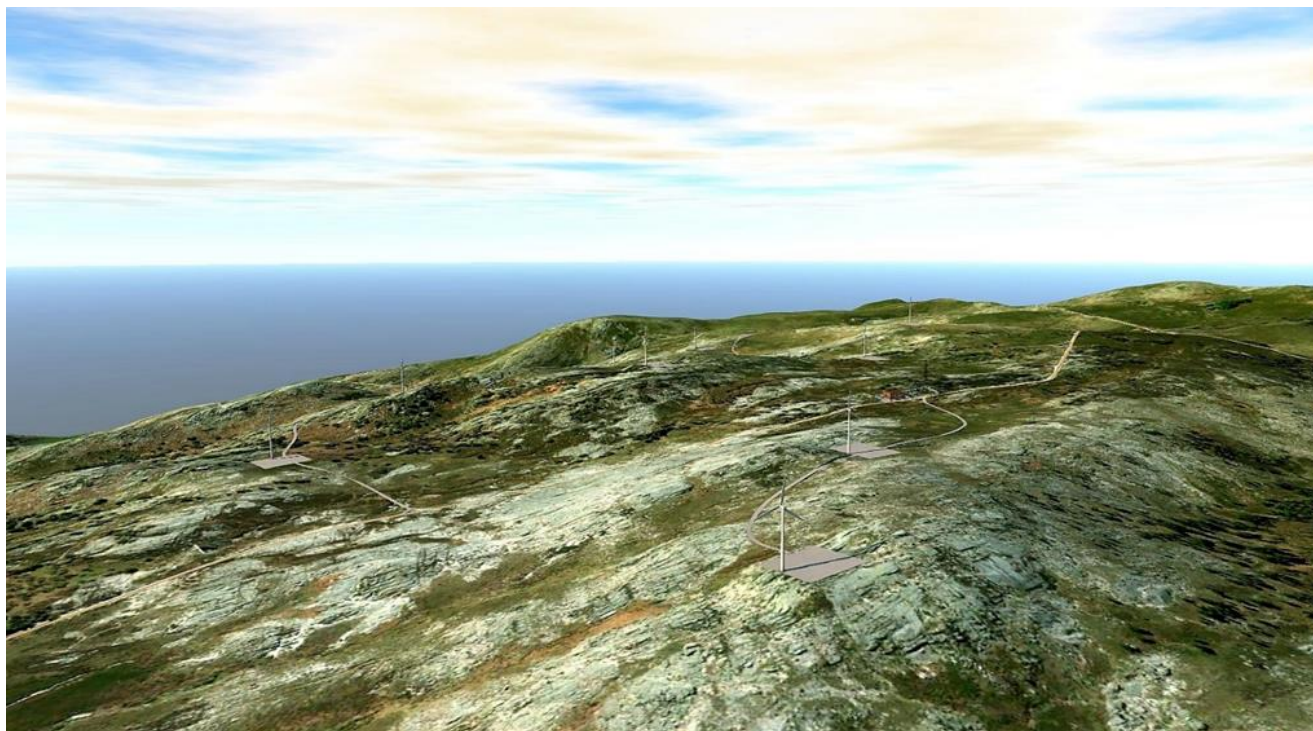
### 6.2.3.3 Definição do Layout em 3D

Na elaboração do layout em 3D, recorreu-se ao programa InfraWorks, que permite construir, gravar, otimizar e simular vários layouts. Para gerar o modelo, primeiramente o programa importa uma nuvem de pontos com dados SRTM, disponibilizados pelo satélite da NASA e seguidamente combina essa nuvem de pontos com as imagens 2D disponíveis nos mapas existentes.

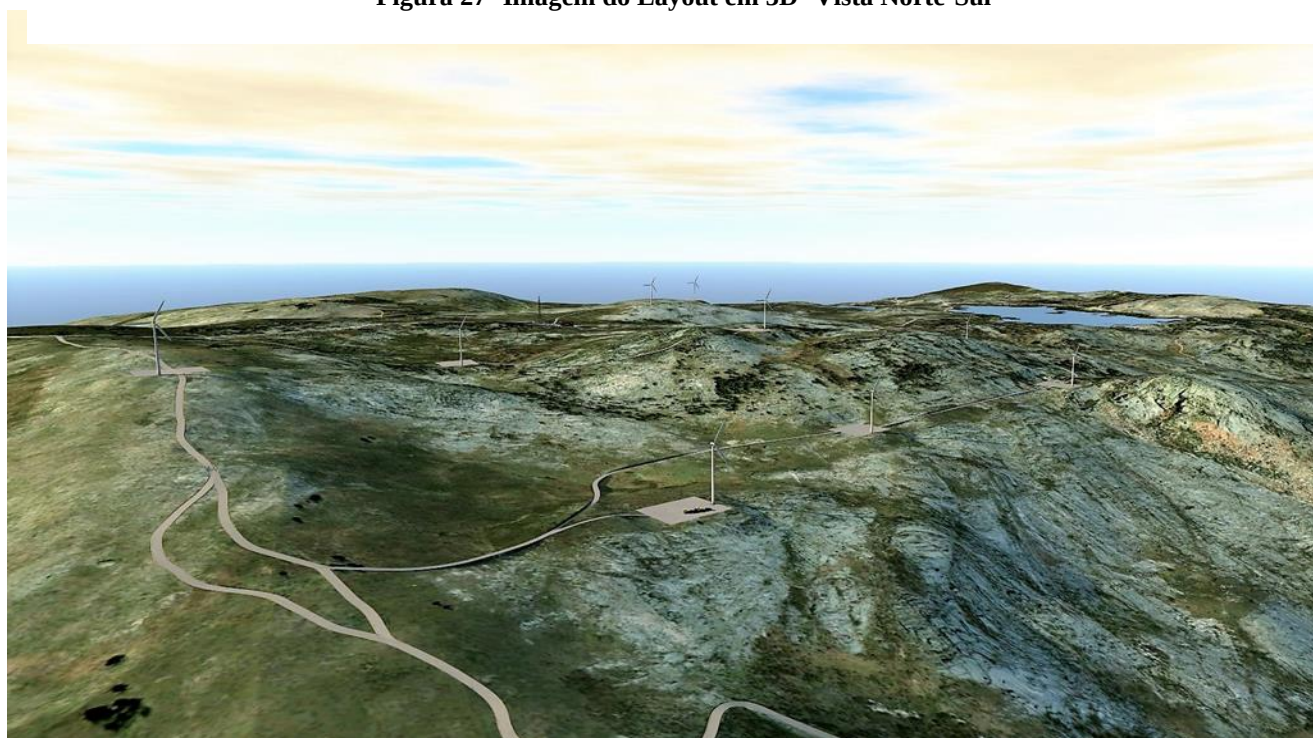
Na imagem da Figura 27 ilustra-se a vista para Norte do parque eólico e na Figura 26, ilustra-se a vista para sul.

Tal como referido anteriormente, a vantagem do dimensionamento 3D é poder simular a sombra e impacto visual do aerogerador, como também, poder analisar a morfologia do terreno de forma a justificar a construção dos acessos, quanto ao contorno acidentados morfológicos acentuados.

Comercialmente é também mais apelativo e intuitivo uma definição de Layout em três dimensões.



**Figura 27- Imagem do Layout em 3D- Vista Norte-Sul**



**Figura 26- Imagem do Layout em 3D - Vista Sul-Norte**

## 6.2.4 Especificidade de Obra

Neste subcapítulo, irá ser demonstrado as particularidades da construção do projeto, dando ênfase à construção das fundações, acessos, plataformas, vala de cabos e subestação.

### 6.2.4.1 Construção Civil

Os trabalhos de construção civil, que normalmente são realizadas por uma entidade subcontratada, ou até mesmo contratada pelo cliente, de uma forma genérica, consistem na construção do edifício de comando e subestação, das fundações aerogeradores, da construção das plataformas, acessos, valas de cabos e por último, responsáveis pela recuperação paisagística.

### 6.2.4.2 Fundações

As fundações mais utilizadas são as do tipo sapata isolada, cuja dimensão depende das características do aerogerador e do meio geológico presente. Para tal é necessário um estudo geológico ao terreno, de forma a poder caracterizá-lo. Os fatores naturais, como o vento, gelo e neve, são também fatores a ter em conta no dimensionamento das fundações do aerogerador.

Como o parque eólico do Arnal se localiza em meio geológico favorável, e o aerogerador será um E-92/S/83, então, a configuração da fundação será idêntica à da Figura 28, e irá ser preenchida por 23 m<sup>3</sup> de betão de limpeza C 12/15 e 346 m<sup>3</sup> de betão estrutural C 35/45, como se ilustra na Figura 29.

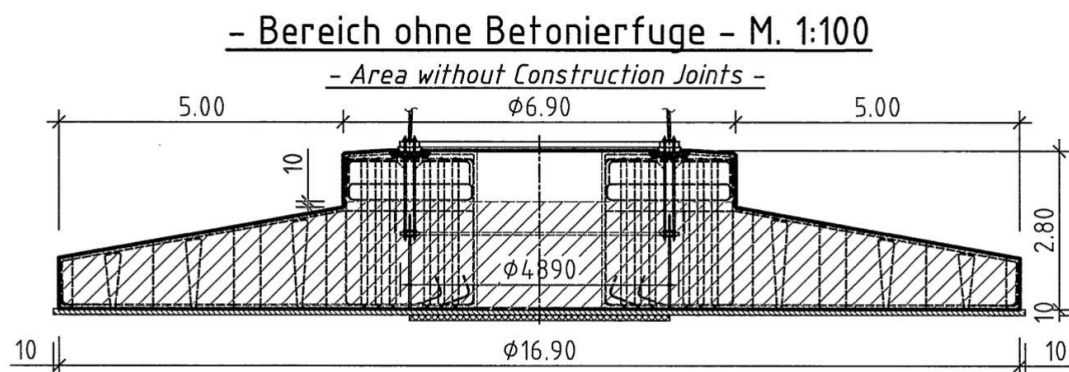


Figura 28- Desenho dimensional da fundação do Aerogerador E-92, (Enercon)

O processo de construção da fundação, de uma forma genérica, requer os seguintes passos:

- Localização Topográfica;
- Sondagens para caracterização do solo;
- Escavação e remoção da terra para a fundação, com auxílio de retroescavadora ou com auxílio de explosivos em caso de o terreno ser muito rochoso;
- Betonagem com betão de limpeza C 12/15;
- Armação da fundação, segundo o projeto de fundação para a respetiva torre, utilizando varões de aço do tipo B500B;
- Incorporação, na armação, dos elementos de fixação das torres à fundação, como



**Figura 29- Betonagem de Fundação de um aerogerador**

por exemplo as *foundation sections* ou *foundation basckets*;

- Posicionamento e incorporação, na armação, de tubagens para os cabos elétricos e para a drenagem da fundação;
- Betonagem com betão estrutural C 35/45;
- Aplicação de isolante para a cura e selagem do betão;
- Aterro da fundação com elementos da escavação, por camadas adequadamente compactadas.

A betonagem de uma fundação com estas dimensões, demora cerca de 9 horas interrompidas, e requer um bom planeamento, pois como se exemplifica na Tabela 7, no total serão necessários 35 descargas de camiões betoneira, por cada, considerando a capacidade do camião

betoneira de  $10\text{m}^3$ , que após análise dos tempos de percurso, descarga e carga, perfaz um total de 8 camiões betoneira necessários para cumprir os tempos e evitar interrupções na betonagem.

A Tabela 7 foi construída com base nos tempos arbitrados, que serão muito próximos aos reais, pois, após a pesquisa por centros de betonagem, no distrito de Vila Real, escolheu-se o mais próximo ao projeto em causa, que se encontra a 21 km. Essa distância demorará cerca de 45 minutos, a ser percorrida, por um camião, em cada sentido e cada carga e descarga demorará cerca de 15 minutos. Assim sendo e com o objetivo de evitar uma cura heterogénea no betão, chegou-se à conclusão que se irá necessitar de 8 camiões betoneira.

| 8  |    |    |    | 9  |    |    |    | 10 |    |    |    | 11 |    |    |    | 12 |    |    |    | 13 |    |    |    | 14 |    |    |    | 15 |    |    |    | 16 |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 | 15 | 30 | 45 | 60 |
| 1  |    |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |
|    | 2  |    |    |    |    |    |    |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    | 2  |    |    |
|    |    | 3  |    |    |    |    |    |    |    | 3  |    |    |    |    |    |    |    | 3  |    |    |    |    |    |    |    | 3  |    |    |    |    |    |    |    | 3  |    |
|    |    |    | 4  |    |    |    |    |    |    |    | 4  |    |    |    |    |    |    |    | 4  |    |    |    |    |    |    |    | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    | 5  |    |    |    |    |    |    |    | 5  |    |    |    |    |    |    |    | 5  |    |    |    |    |    |    |    | 5  |    |    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    | 6  |    |    |    |    |    |    |    | 6  |    |    |    |    |    |    |    | 6  |    |    |    |    |    |    |    | 6  |    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    | 7  |    |    |    |    |    |    |    | 7  |    |    |    |    |    |    |    | 7  |    |    |    |    |    |    |    | 7  |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    |    | 8  |    |    |    |    |    |    |    | 8  |    |    |    |    |    |    |    | 8  |    |    |    |    |    |    |    | 8  |    |    |    |    |

**Tabela 7 - Planeamento de betonagem**

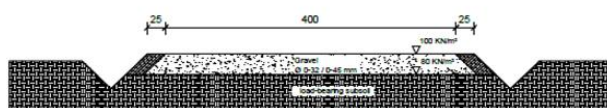
### 6.2.4.3 Acessos e Plataformas

Os acessos ao parque é uma das infraestruturas mais importantes do projeto, visto que é através desta infraestrutura que a grua e todos os componentes de montagem serão transportados. É fundamental, para evitar problemas de circulação e de segurança durante e após o projeto, assegurar um correto dimensionamento das mesmas.

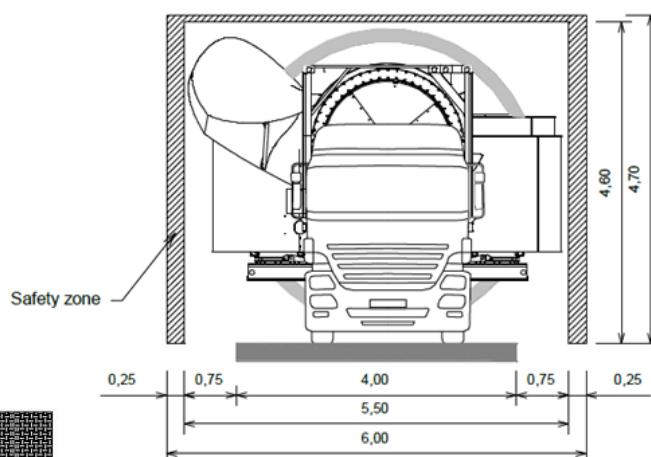
De uma forma geral, e para o exercício do parque eólico do Arnal, os acessos dentro do parque eólico devem ser concebidos de forma a resistir a uma carga total máxima de 165 toneladas, distribuídas no máximo até 12 toneladas por eixo. A largura mínima para dirigibilidade, terá de ser de 4 metros, como ilustra a imagem da Figura 31, embora o desejável seja 8 metros, permitindo uma logística local mais facilitada e segura.

Os acessos não poderão possuir uma inclinação superior a 7%, se tal acontecer, terão de ser usados pavimentos que evitem a perda de tração, ou como alternativa, utilizar camiões de tração acoplados ao camião de transporte.

Como a geologia presente no parque eólico do Arnal é maioritariamente rochosa, o perfil da construção dos acessos apenas necessita de uma camada de gravilha, com um sistema de drenagem de águas pluviais, como se pode verificar na Figura 30.



**Figura 30 - Dimensão dos acessos internos ao parque, (Enercon)**



**Figura 31- Dimensões dos acessos necessários ao transporte, (Enercon)**

As plataformas são dimensionadas de forma a ser possível a montagem e a elevação do equipamento. As suas dimensões, podem variar devido ao modelo do aerogerador, modelo de grua utilizado ou restrições impostas devido ao estudo de impacto ambiental.

A plataforma deve contemplar uma área para a grua, uma zona de pré-montagem, um local para o armazenamento dos componentes, uma zona para implantação dos contentores de obra, uma área de segurança, uma zona de estacionamento e uma zona para elevação. Na Figura 32, está exemplificado uma plataforma indicada para a montagem dos aerogeradores E-92, no parque eólico do Arnal.

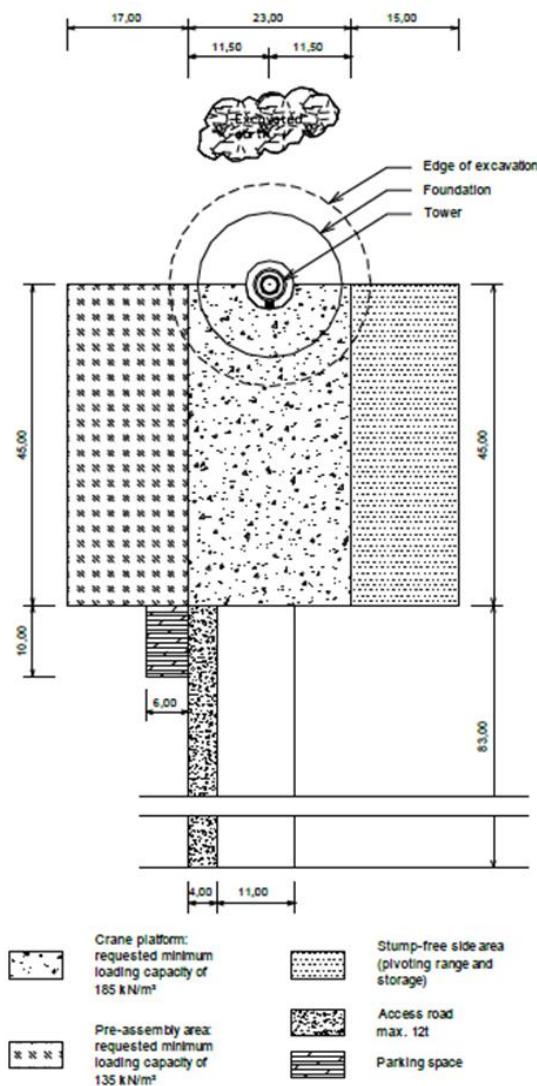


Figura 32 - Desenho dimensional da plataforma recomendada, (Enercon)

#### 6.2.4.4 Vala de Cabos

A construção da vala de cabos, faz parte da cadeia de fornecimento da obra civil, uma vez que esta infraestrutura, ilustrada na Figura 33, é responsável pela interconexão, tanto de potência como de controlo entre aerogeradores e a subestação.

Esta infraestrutura possui várias configurações, pois é dimensionada para ser instalada paralelamente à via de acesso, mas existem situações onde é necessário realizar travessias das vias de acesso, como tal, nessas travessias a configuração é diferente.

A vala de cabos afeta ao parque eólico do Arnal, necessitará dos seguintes trabalhos de construção civil:

- Abertura de vala;

- Limpeza do fundo da vala;
- Colocação da terra de escavação;
- Fornecimento e colocação de areia;
- Colocação das lajetas de proteção;
- Colocação de uma fita de sinalização;
- Enchimento da vala até à fita de sinalização;
- Compactação da vala;
- Acabamentos finais e colocação de sinalização.

Na Figura 33 está esboçado a configuração da vala de cabos para a instalação paralela à via.

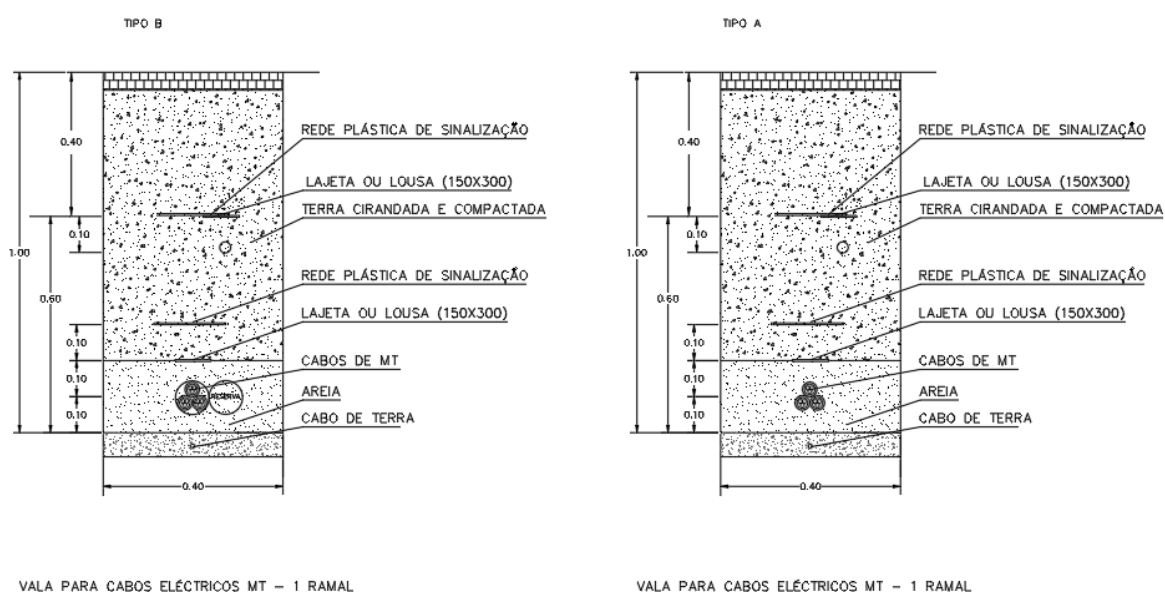


Figura 33- Desenho dimensional das duas configurações da Vala de cabos de média tensão, (Enercon)

#### 6.2.4.5 Subestação e Edifício de Comando

O edifício de subestação e o edifício de comando usualmente partilham a mesma infraestrutura, que se assemelha a uma moradia convencional, mas com as particularidades de possuir calhas para cabos, maciços de fundação para estruturas elétricas, estruturas estas ilustradas na Figura 34 e bacias de retenção para evitar contaminação dos solos.

A subestação é responsável pela integração do parque eólico na rede elétrica nacional, sendo que a sua construção é responsabilidade do promotor do projeto e a sua gestão será feita pelo responsável de distribuição da rede elétrica nacional.



Figura 34 - Estruturas elétricas de uma subestação, (HVM Engineering, 2020)

## 6.2.5 Transporte, Montagem e Comissionamento dos Aerogeradores

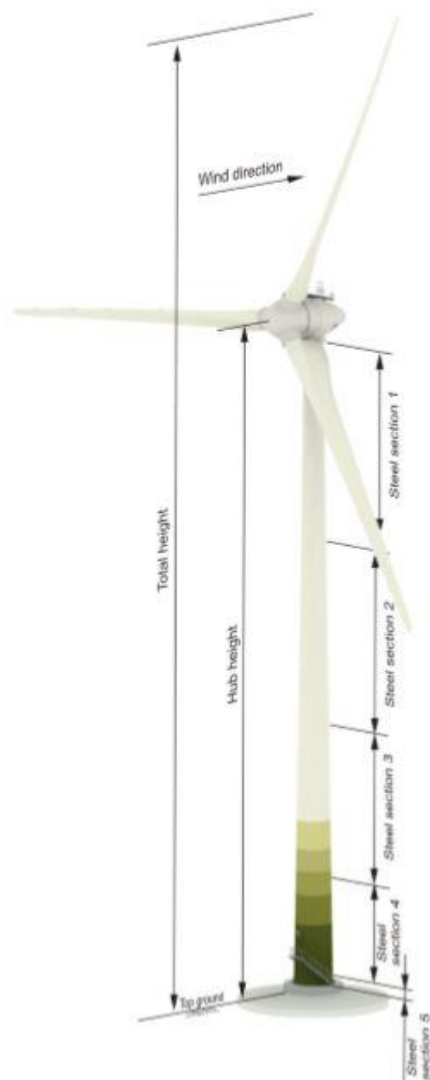
Neste capítulo tentar-se-á demonstrar os processos de transporte, montagem mecânica, elétrica e por fim a fase de comissionamento de um aerogerador, aplicando esta demonstração ao exercício referido anteriormente.

### 6.2.5.1 Transporte

A tarefa de transportar os componentes para uma localização, normalmente remota, com difíceis acessos e os componentes a serem transportados são normalmente volumosos, pesados e delicados. Estas condicionantes são um enorme desafio para as equipas de logística que muitas vezes têm de recorrer à engenharia e criatividade para entregar os componentes dos aerogeradores em parque.

Todo este processo de preparação do transporte requer um estudo do caminho a ser percorrido, desde as instalações de produção, até ao parque eólico. A este estudo dá-se o nome de *Route Survey*.

Parte do estudo relativo ao transporte dos aerogeradores, neste caso o aerogerador ilustrado na Figura 35, para o parque eólico do Arnal, trata-se de verificar dimensões e pesos máximos dos componentes a transportar, com o intuito de verificar a viabilidade de transporte e as configurações de transporte necessárias.



| Componente               | Comprimento [m] | Peso [ton] |
|--------------------------|-----------------|------------|
| <b>Secção 1</b>          | 28,46           | 44         |
| <b>Secção 2</b>          | 24              | 57         |
| <b>Secção 3</b>          | 16,14           | 58         |
| <b>Secção 4</b>          | 11,33           | 62         |
| <b>Secção 5</b>          | 3               | 21         |
| <b>Cesto de Fundação</b> | 1,8             | 10         |
| <b>Pá</b>                | 52              | 16.7       |
| <b>Nacelle</b>           | 25              | 87.5       |
| <b>Gerador</b>           | 23              | 115        |
| <b>Hub</b>               | 25              | 87.5       |

**Figura 35- Segmentação do Aerogerador E-92, (Enercon)**

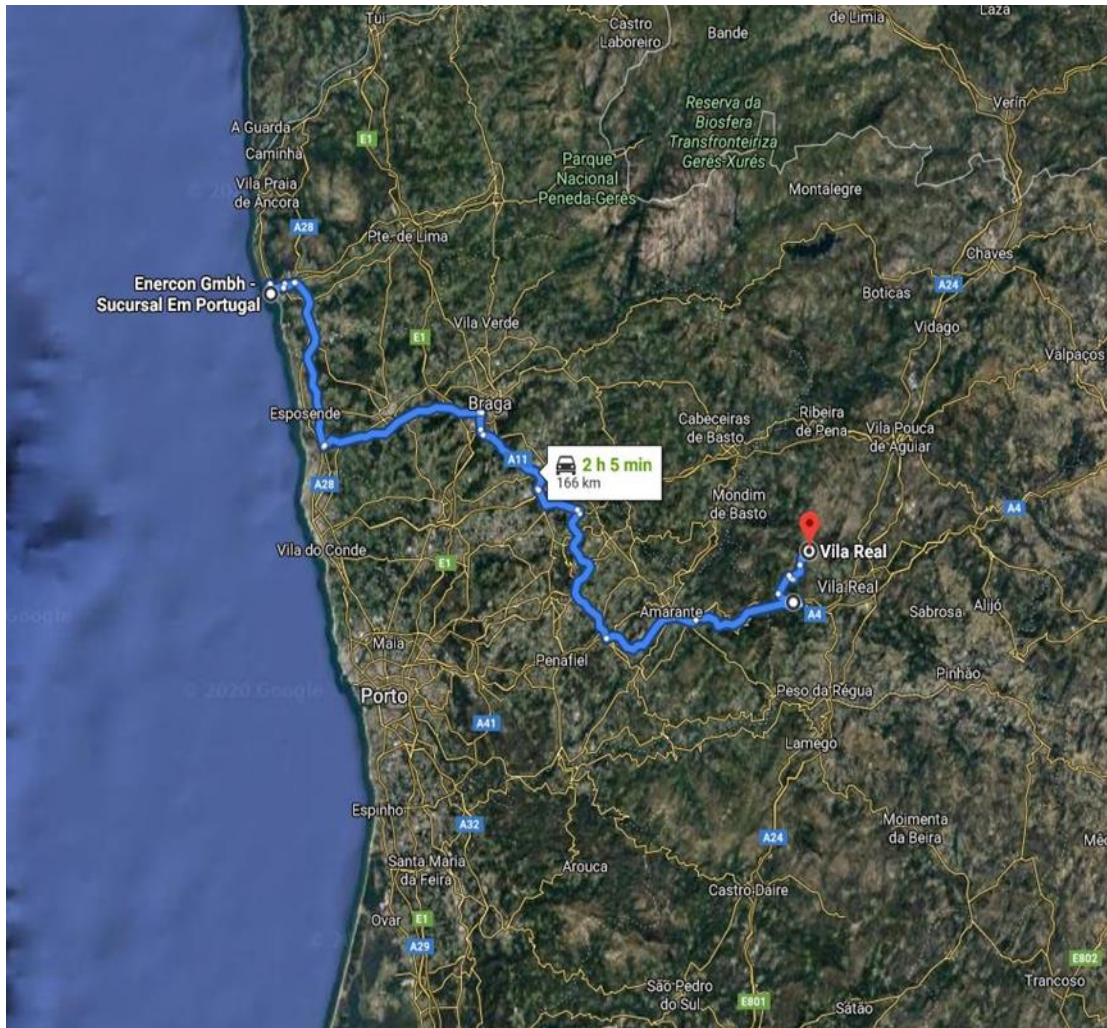
**Tabela 8- Dimensões e pesos das secções a transportar, (Enercon)**

Como se pode verificar na Tabela 8, os componentes críticos são as pás, devido ao seu comprimento, o que exige um raio de curvatura considerável. O gerador, que é o componente mais pesado e mais largo, necessita de um atrelado com mais eixos, por forma a distribuir melhor a sua massa, sem danificar as infraestruturas rodoviárias.

Após esta análise, é realizado um *route survey*, onde uma equipa responsável pelo transporte faz a sua análise ao melhor percurso a ser feito, identificando potenciais problemas e intervenções necessárias para o sucesso da operação. Para o exercício em questão, foi efetuada uma análise do percurso através do recurso *Google Earth* e, na fase mais crítica, realizada uma

visita presencial ao local de implementação do projeto, percorrendo e gravando o percurso de acesso ao parque.

A rota recomendada para o fornecimento dos componentes do parque eólico do Arnal, ilustra-se na Figura 36. Este percurso inicia-se na Enercon Sucursal Em Portugal, passando pelas autoestradas A28, A11 e A4, concluindo-se na N304.



**Figura 36 - Percurso a ser realizado pelo transporte**

O percurso escolhido possui quatro situações que requerem mais atenção, três delas são de resolução simples, pois consistem apenas na remoção de sinais de trânsito, no entanto, é já na N304 que surgem os maiores desafios. No quadro abaixo, podemos verificar que existe a necessidade de remoção de sinais de trânsito, mas também que existe um problema relativamente à insuficiência de largura e excesso de altura, relativamente aos muros laterais das quatro pontes que se necessita de atravessar, como se pode contrastar com a imagem da Figura 31, que nos demonstra as dimensões necessárias para um transporte seguro. Como não é possível demolir esses segmentos de ponte, será necessário a construção de um transporte apropriado e adaptado as configurações necessárias.

N304- Quatro pontes

**Obras Requeridas:**

- Remoção de sinais de trânsito presentes nas pontes;
- Necessidade de um transporte, especialmente adaptado, para elevar os componentes acima do nível da ponte.

**Imagens:**



**Figura 39- Primeira ponte N304**



**Figura 40- Quarta ponte N304**

Relativamente ao transporte dos componentes, serão necessários um total de 12 transportes especiais, como exemplificados na imagem da Figura 37, para cada aerogerador, sendo que, para todo o projeto, serão necessários 108 transportes deste género, que terão de ser efetuados preferencialmente à noite, por forma a minimizar os constrangimentos provocados à população residente.



Figura 37- Transporte especial com reboque extensível (LASO, 2020)

#### 6.2.5.2 Montagem

A montagem mecânica dos aerogeradores é um dos trabalhos mais críticos e delicados, pois dependendo do local e da estação do ano, as condições climáticas são a grande condicionante do cronograma final do projeto, uma vez que na presença de rajadas de ventos fortes é impossível trabalhar com cargas desta magnitude a estas altitudes.

##### 6.2.5.2.1 Seleção de Equipamentos Necessários à Montagem

A primeira tarefa de montagem começa com o transporte da grua, que normalmente é transportada em partes até ao parque, demorando cerca de 2 dias a ser totalmente montada e configurada.

A seleção da grua principal e da grua auxiliar é uma decisão importante, pois pode comprometer cronograma do projeto, uma vez que o raio de trabalho, a altura de elevação de componentes, os pesos dos componentes e o nivelamento de plataforma de trabalho, são fatores que influenciam a seleção das gruas a utilizar.

Para o exercício em questão, sabe-se que a montagem será efetuada a uma altura máxima de 85 metros e sabe-se também que o componente mais pesado a ser levantado será o



|     | 56 m | 63 m | 70 m | 77 m | 84 m | 91 m | 98 m | 105 m | 112 m | 119 m | 126 m | 133 m | 140 m |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 9   | 400  | 400  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       | 9   |
| 10  | 400  | 400  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       | 10  |
| 11  | 400  | 400  | 388  | 350  | 326  |      |      |       |       |       |       |       |       | 11  |
| 12  | 400  | 399  | 387  | 350  | 326  | 281  |      |       |       |       |       |       |       | 12  |
| 14  | 400  | 397  | 385  | 350  | 325  | 280  | 253  | 201   | 183   |       |       |       |       | 14  |
| 16  | 400  | 396  | 384  | 349  | 325  | 278  | 250  | 196   | 182   | 146   | 132   | 112   |       | 16  |
| 18  | 398  | 395  | 383  | 349  | 325  | 273  | 244  | 195   | 181   | 146   | 132   | 112   | 101   | 18  |
| 20  | 391  | 389  | 382  | 349  | 322  | 268  | 238  | 195   | 180   | 146   | 131   | 111   | 101   | 20  |
| 22  | 384  | 375  | 373  | 349  | 317  | 259  | 232  | 195   | 179   | 146   | 131   | 111   | 100   | 22  |
| 24  | 372  | 361  | 356  | 340  | 313  | 250  | 224  | 194   | 178   | 146   | 131   | 111   | 100   | 24  |
| 26  | 341  | 347  | 338  | 326  | 304  | 241  | 217  | 192   | 174   | 146   | 131   | 110   | 99,8  | 26  |
| 28  | 309  | 322  | 321  | 311  | 293  | 232  | 210  | 189   | 169   | 143   | 130   | 110   | 99,5  | 28  |
| 30  | 278  | 296  | 302  | 297  | 282  | 224  | 203  | 186   | 165   | 141   | 128   | 107   | 98,3  | 30  |
| 32  | 258  | 270  | 283  | 282  | 271  | 215  | 196  | 181   | 161   | 138   | 127   | 105   | 96,6  | 32  |
| 34  | 238  | 247  | 263  | 265  | 260  | 206  | 189  | 175   | 157   | 136   | 125   | 103   | 94,8  | 34  |
| 36  | 219  | 231  | 244  | 248  | 246  | 198  | 182  | 170   | 152   | 132   | 123   | 101   | 93,1  | 36  |
| 38  | 201  | 215  | 226  | 231  | 233  | 191  | 175  | 164   | 148   | 129   | 121   | 98,6  | 91,4  | 38  |
| 40  | 187  | 199  | 211  | 215  | 219  | 185  | 169  | 159   | 143   | 125   | 118   | 96,2  | 89,6  | 40  |
| 44  | 160  | 171  | 181  | 191  | 191  | 173  | 158  | 150   | 134   | 118   | 113   | 91,6  | 85,8  | 44  |
| 48  | 139  | 148  | 156  | 167  | 171  | 161  | 148  | 141   | 127   | 112   | 107   | 86,9  | 82    | 48  |
| 52  | 121  | 127  | 139  | 146  | 151  | 148  | 138  | 132   | 120   | 106   | 102   | 82,3  | 78,3  | 52  |
| 56  |      | 112  | 122  | 129  | 132  | 134  | 128  | 124   | 113   | 99,9  | 97,5  | 78,3  | 74,7  | 56  |
| 60  |      |      | 109  | 113  | 119  | 121  | 119  | 116   | 106   | 94,2  | 92,6  | 74,4  | 71,4  | 60  |
| 64  |      |      | 95,3 | 101  | 107  | 111  | 109  | 108   | 99,9  | 90    | 87,8  | 70,5  | 68,1  | 64  |
| 68  |      |      |      | 91,8 | 94,8 | 100  | 99,3 | 100   | 93,5  | 86,2  | 84,2  | 66,7  | 64,8  | 68  |
| 72  |      |      |      | 81,9 | 85,3 | 89,8 | 89,7 | 91,9  | 87    | 82,4  | 80,8  | 64,2  | 61,8  | 72  |
| 76  |      |      |      |      | 75,7 | 81,4 | 80   | 83,8  | 81,2  | 78,7  | 77,3  | 61,6  | 59,5  | 76  |
| 80  |      |      |      |      |      | 73,1 | 72,7 | 75,7  | 73,2  | 73,8  | 73,8  | 59,1  | 57,3  | 80  |
| 84  |      |      |      |      |      | 65   | 67,2 | 68    | 69,8  | 67,1  | 68,9  | 56,5  | 55    | 84  |
| 88  |      |      |      |      |      |      | 61,6 | 64,1  | 61,1  | 63,4  | 63,4  | 53,9  | 52,8  | 88  |
| 92  |      |      |      |      |      |      |      | 55,2  | 58,3  | 55,1  | 57,8  | 51,1  | 50,3  | 92  |
| 96  |      |      |      |      |      |      |      | 48,8  | 52,6  | 50,3  | 52,3  | 48,4  | 47,5  | 96  |
| 100 |      |      |      |      |      |      |      |       | 46,9  | 46,6  | 47,1  | 45,7  | 44,6  | 100 |
| 104 |      |      |      |      |      |      |      |       |       | 42,9  | 43,8  | 43    | 41,8  | 104 |
| 108 |      |      |      |      |      |      |      |       |       | 39,2  | 40,4  | 40    | 39    | 108 |
| 112 |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | 37,1  | 37    | 36,2  | 112 |
| 116 |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | 33,6  | 34    | 33,5  | 116 |
| 120 |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | 31    | 30,7  | 120 |
| 124 |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | 27,9  | 124 |
| 128 |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | 25,1  | 128 |

TAB 251042 / 251045

**Tabela 9 - Tabela de cargas máximas referentes à altura e raios de trabalho (Liebherr, 2020)**

conjunto de pás com o *Hub*, que perfaz um peso total de 137,5 toneladas e que serão necessários pelo menos 28 metros de raio de trabalho. Posto isto, a escolha da grua principal, selecionada com o auxílio do Gráfico 2, recai sobre uma Liebherr LR 1750 HSLD3B/BW com uma lança treliçada de 98 metros que suporta 210 toneladas no regime de funcionamento supramencionado, como ilustra a Tabela 9.

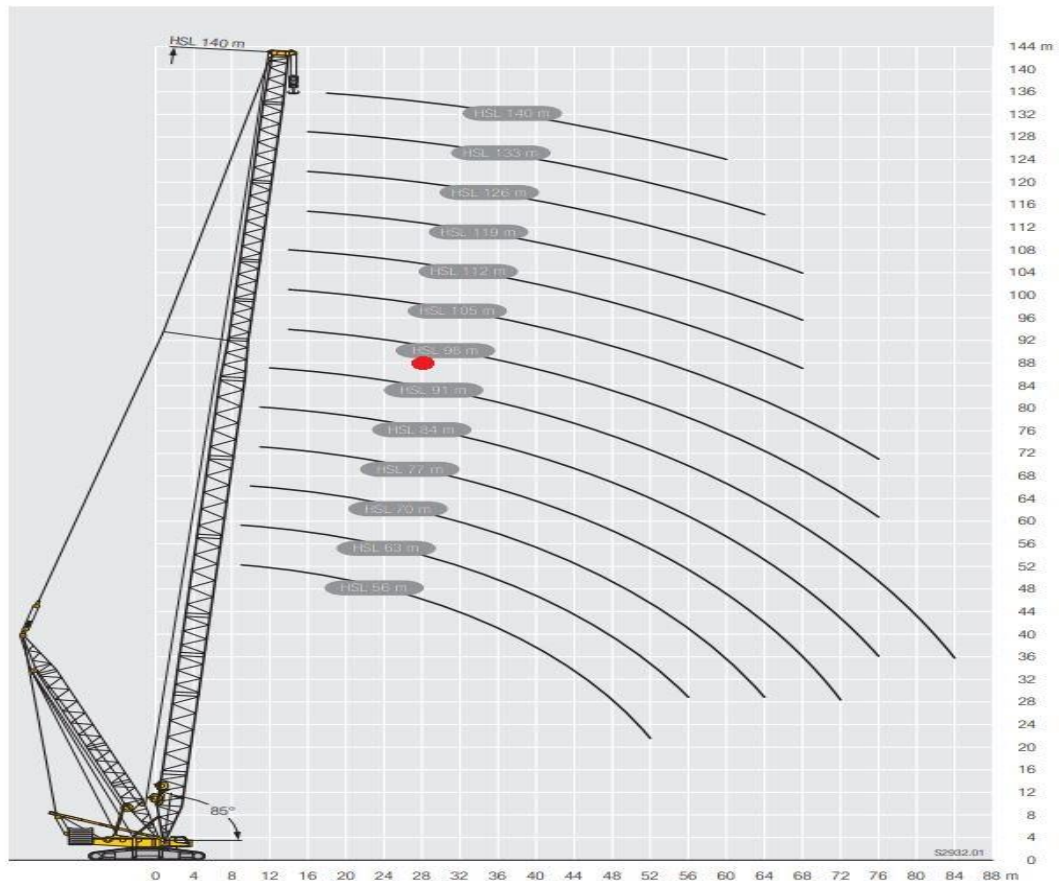


Gráfico 2- Gráfico de seleção da grua principal (Liebherr, 2020)

Para a montagem da própria grua principal, para a realização da pré-montagem dos equipamentos e para a descarga dos mesmos, também é necessária uma grua auxiliar, embora mais pequena e com menor capacidade. Para tal, ir-se-á selecionar uma grua da marca Liebherr do modelo LTM 1200.

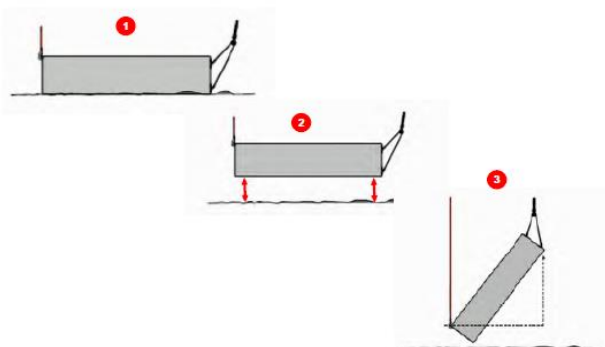
Cada equipa de montagem necessitará também de um empilhador telescópico, um *Cherry Picker*, e também será necessário um *sky lift* de 90m, embora este último possa ser partilhado pelas duas equipas.

#### 6.2.5.2.2 Montagem Mecânica e Elétrica

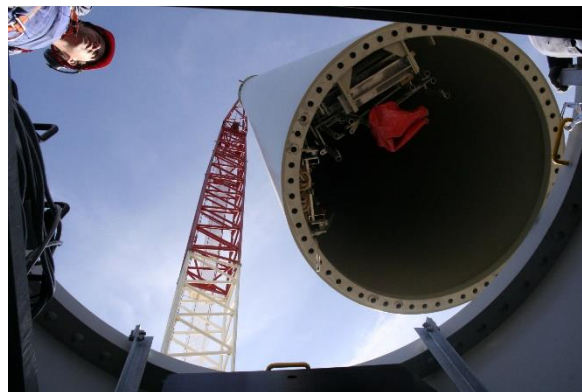
Antes de iniciar a montagem da primeira secção, é necessário realizar o *grouting* entre a fundação e a secção embebida na armação, somente para o caso das máquinas que usam *Foundation basket*, com o objetivo de unir as duas secções de diferentes materiais e também, evitar a entrada de água.

De seguida é colocado o armário de controlo de potência, na base do aerogerador e efetuadas as devidas instalações possíveis até essa fase.

Após esta instalação, segue-se a montagem da torre que neste caso, está dividida em 5 secções. Cada secção é erguida e verticalizada com o auxílio da grua principal e a grua auxiliar, como se mostra na Figura e na Figura . As ligações entre secções são aparafusadas, de acordo com as normativas internas, que asseguram uma ligação estrutural estável e segura.



**Figura 42- Etapas de verticalização das secções de torre**



**Figura 43- Etapa final após a verticalização**

Seguidamente à montagem de todas as secções, segue-se a montagem da Nacelle, conectando-a mecanicamente à torre, através de uma união aparafusada ao rolamento que permite ao aerogerador orientar-se para a posição mais favorável de vento.

De seguida, é acoplado o gerador à Nacelle, como ilustra a imagem da Figura .

Após a devida conexão do gerador, ergue-se o componente mais sensível às rajadas de vento, uma vez que foi desenvolvido para tal. Ainda em terra, é realizada uma pré-montagem do hub com as pás, como ilustrado na imagem da Figura , para que, assim que haja uma janela meteorológica favorável e com o auxílio de ancoragens e estabilização com cordas, se faça uma montagem rápida e com precisão.



**Figura 44- Subida do gerador**



**Figura 45- Subida do conjunto Hub e pás**

Completada a fase de montagem mecânica, é iniciada a fase de cabeamento da máquina que consiste em realizar todas as conexões elétricas de todos os componentes do aerogerador.

#### **6.2.5.3 Comissionamento**

Após a montagem mecânica e elétrica do aerogerador e após o cliente garantir a ligação a rede nacional, inicia-se a fase de comissionamento, que consiste, dependendo do contrato, em colocar o aerogerador em funcionamento durante 300h, sem que este dê erros devido a falha própria. Caso contrário terá de se reiniciar o teste por mais 300h.

Após a realização deste teste, com sucesso, é efetuada a primeira manutenção preventiva na máquina e, posteriormente, a sua entrega ao cliente.

#### **6.2.6 Elaboração de um Cronograma**

Como referido anteriormente, na construção de um parque eólico é fundamental possuir um cronograma detalhado para todas as atividades e tarefas inerentes ao projeto. Esta ferramenta deve ser do conhecimento de todos os envolvidos na obra, uma vez que os empreiteiros e subempreiteiros têm de se sincronizar de forma a evitar atrasos.

O cronograma é essencial na identificação e demonstração do caminho crítico, das atividades críticas e das datas importantes do projeto.

### **6.2.6.1 Identificação das Tarefas e Marcos Importantes**

A elaboração do cronograma para a construção de um parque eólico deve identificar claramente os seguintes pontos:

- Licenciamento do Parque;
- Assinatura do Contrato;
- Construção do parque;
  - Estradas de acesso ao parque;
  - Vala de Cabos;
  - Fundações:
    - Entrega de secção de fundação;
    - Estudo geológico;
    - Escavação;
    - Aprovação do estudo geológico;
    - Armação de aço;
    - Betonagem;
    - Aterro da fundação;
    - Nivelamento da plataforma.
- Construção da Subestação e edifício de comando;
- Montagem do Aerogerador;
  - Mobilização das gruas;
  - Montagem das gruas;
  - Entrega dos componentes do Aerogerador;
  - Pré-Montagem;
  - Montagem mecânica;
    - Montagem da secção 4;
    - Montagem da secção 3;
    - Montagem da secção 2;
    - Montagem da secção 1;
    - Montagem da Nacelle;
    - Balizagem Aeronáutica (se necessário);
    - Montagem do Gerador;
    - Montagem do conjunto Hub e pás.
  - Montagem elétrica;
    - Cablagem do E-Module;
    - Cablagem da Torre;
    - Cablagem da Nacelle;
    - Instalação do guincho.
- Comissionamento (300h);
- Taking over.

### **6.2.6.2 Duração das Tarefas**

Para além da descrição das tarefas é de extrema importância uma estimativa realista e adequada do tempo de cada tarefa, tempo este que depende da quantidade de recursos, mão de obra, ferramentas disponíveis, condições meteorológicas, capacidade de produção, experiência

da equipa, etc. São inúmeras as variáveis que condicionam o tempo de realização de cada tarefa, adivinhando-se assim, uma estimação muito baseada na experiência de projetos anteriores.

No âmbito do exercício do parque eólico do Arnal, foram estimados os tempos associados a cada tarefa, que se apresentam na Tabela 10. Os dias apresentados referem-se sempre a dias úteis de trabalho, correspondendo a 8 horas de trabalho diárias.

| Tarefa                                      | Tempo Estimado       |
|---------------------------------------------|----------------------|
| Construção das estradas de acesso ao parque | 40 dias              |
| Construção da vala de cabos                 | 40 dias              |
| Instalação e movimentação das gruas         | 2 dias               |
| Entrega da secção da fundação               | 4 dias               |
| Estudo geológico                            | 2 dias/fundação      |
| Escavação                                   | 5 dias/fundação      |
| Armação de aço                              | 10 dias/fundação     |
| Betonagem                                   | 1 dia/fundação       |
| Aterro da fundação                          | 1 dia/fundação       |
| Nivelamento da plataforma                   | 1 dia/ plataforma    |
| Construção da subestação                    | 80 dias              |
| Montagem mecânica do aerogerador            | 7,5 dias/aerogerador |
| Montagem elétrica do aerogerador            | 4 dias/aerogerador   |
| Comissionamento                             | 300h/ aerogerador    |

**Tabela 10- Tabela de tarefas e tempos estimados para cada tarefa**

### 6.2.6.3 Diagrama de *Gantt*

Com base nos dados anteriores elaborou-se um cronograma de projeto que é representado num diagrama de Gantt, no qual estão representados os marcos e as tarefas mais importantes para o projeto e para o conhecimento de todos os intervenientes. Cada atividade poderá ser ainda mais detalhada, embora se perca a perceção visual do projeto, que é extremamente útil na tomada de decisões e quando existe a necessidade de realizar alterações no cronograma. De notar, que o diagrama de Gantt ilustra todo o processo de montagem e comissionamento do primeiro aerogerador, estando o diagrama completo ilustrado no anexo (A)

Para efeitos do exercício, é necessário assumir datas de entregas e assumir recursos disponíveis. Estas datas e recursos, serão arbitradas, de forma a ser possível cumprir o prazo

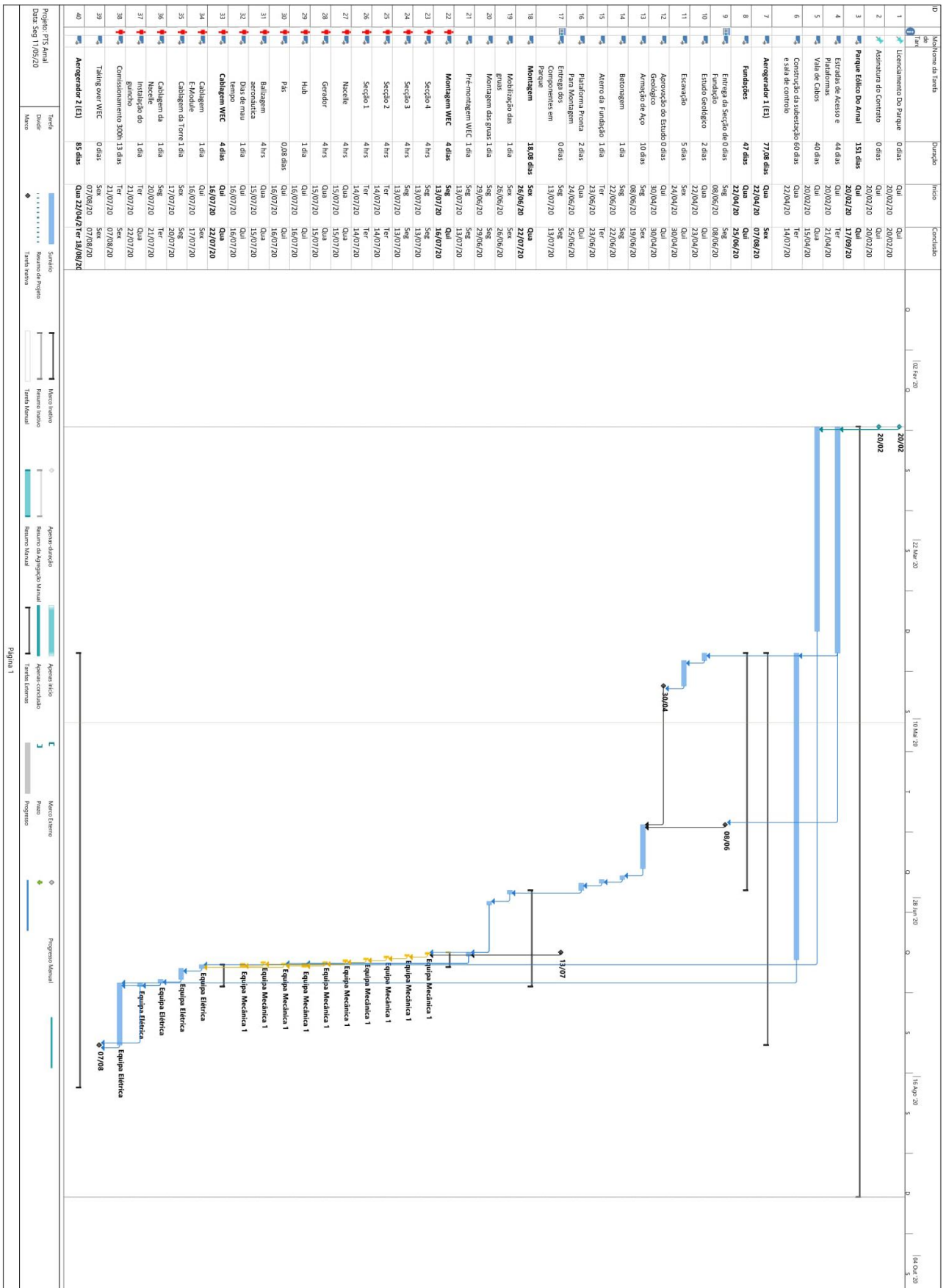
estipulado de instalação e evitar instalar no Inverno, pois essa estação do ano causa elevados custos para o projeto.

Irá ser assumido que as secções de fundação e as cestas de fundação serão entregues, respetivamente nas semanas 24 e 26 de 2020.

Assumir-se-á também a entrega das máquinas 1, 2 e 3 na semana 29 de 2020, a entrega das máquinas 4, 5 e 6 na semana 30 de 2020 e a entrega das máquinas 7, 8 e 9 na semana 32 de 2020.

Relativamente a quantidade de recursos, serão necessários 2 dispositivos de nivelamento, 2 equipas de armação de ferro, 1 equipa de betonagem, 2 equipas de montagem mecânica e 1 equipa de montagem elétrica.

Com base nas restrições existentes gerou-se o seguinte Gráfico de Gantt (Gráfico 3), gerado com o auxílio do programa *MS Project*.



**Gráfico 3 - Cronograma para a construção do primeiro aerogerador**

### 6.2.7 Análise de Risco

Neste capítulo será efetuada uma análise de risco, com foco no desempenho do projeto. Para tal, é necessário realizar um planeamento de resposta ao risco, uma identificação dos riscos e, por último, analisar-se-á os riscos de forma qualitativa e quantitativa.

#### 6.2.7.1 Planeamento da Gestão de Risco

Como referido anteriormente no capítulo (4), a abordagem inicial à análise de risco, pressupõe a elaboração de um planeamento da Gestão de Risco. Todas as instituições o devem fazer antes de saber os detalhes de cada projeto, de forma a manter a imparcialidade na fase do planeamento da resposta aos riscos.

A presente análise de risco, efetuada para o exercício do parque eólico do Arnal, será uma análise com o foco no desempenho do projeto.

Na Tabela 11 está exemplificada a abordagem a ser considerada quanto à avaliação quantitativa do risco, onde são explícitas a probabilidade e a consequência de um determinado risco para o desempenho do projeto, categorizando-o em função desse binómio.

| <b>Risco</b>         | <b>Consequência</b> |       |          |       |              |
|----------------------|---------------------|-------|----------|-------|--------------|
| <b>Probabilidade</b> | Insignificante      | Baixa | Moderada | Alta  | Catastrófica |
| Quase certa          | Médio               | Médio | Alto     | Alto  | Alto         |
| Provável             | Baixo               | Médio | Médio    | Alto  | Alto         |
| Possível             | Baixo               | Médio | Médio    | Médio | Alto         |
| Improvável           | Baixo               | Baixo | Médio    | Médio | Alto         |
| Quase impossível     | Baixo               | Baixo | Baixo    | Médio | Médio        |

**Tabela 11 - Matriz qualitativa do risco**

Na Tabela 12 apresenta-se a matriz impacto e probabilidade, identificada, por cores, o apetite de risco da empresa. Isto é, os riscos categorizados pela matriz que se encontrem a verde serão riscos aceites pela empresa. Os riscos categorizados a azul são riscos a evitar ou mitigar e os riscos categorizados pela cor vermelha são riscos a transferir ou evitar. De notar que os valores monetários presentes nesta tabela são valores arbitrados para efeitos de exercício.

|               |     | Impacto |      |      |      |       |
|---------------|-----|---------|------|------|------|-------|
|               |     | 20K€    | 40K€ | 60K€ | 80K€ | 100K€ |
| Probabilidade | 90% |         |      |      |      |       |
|               | 75% |         |      |      |      |       |
|               | 50% |         |      |      |      |       |
|               | 25% |         |      |      |      |       |
|               | 5%  |         |      |      |      |       |

Tabela 12 - Matriz quantitativa do risco

### 6.2.7.2 Identificação dos Riscos

A identificação e categorização dos riscos típicos de uma construção de um parque eólico, os quais serão aplicados ao exercício do Parque Eólico do Arnal, foi baseada em projetos idênticos, que foram acompanhados ao longo do Estágio.

Com base nessas experiências, foram identificados e selecionados os riscos mais relevantes e particulares para o projeto em causa, estando estes apresentados na Tabela 13.

| Tipo de Risco | Título Risco  | Risco                                                                                                                      |
|---------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risco Técnico | Acessos       | Dificuldades no acesso devido a desníveis acentuado e encostas íngremes sem proteção.                                      |
|               | Plataformas   | Incumprimento dos requisitos de qualidade mínimos da plataforma, nomeadamente a dimensão do talude e nivelamento do mesmo. |
|               | Fundação      | Necessidade de fundações mais profundas.                                                                                   |
| Risco Natural | Meteorológico | Equipa parada devido a ventos superiores a 10 m/s.                                                                         |
|               |               | Atrasos no projeto, devido a acidentes de trabalho.                                                                        |
|               | Meio Ambiente | Adaptação do Cronograma devido à migração da fauna.                                                                        |
|               |               | Atrasos no projeto devido a pandemias.                                                                                     |

|                      |                     |                                                                                           |
|----------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risco Cultural       | Segurança           | Roubo                                                                                     |
| Risco Subcontratados | Técnico             | Impossibilidade de usar duas equipas de montagem, devido a limitação de recursos humanos. |
|                      |                     | Atrasos devido a limitação de Recursos Humanos.                                           |
|                      | Transporte          | Atrasos devido a danos no transporte de componentes                                       |
|                      |                     | Degradação de componentes                                                                 |
| Risco Cliente        | Financiamento       | Risco de atrasos ao projeto devido a questões de financiamento.                           |
|                      | Contratual          | Incumprimento das datas de energização.                                                   |
| Risco de Gestão      | Entre Departamentos | Conflito de recursos com outros projetos.                                                 |
|                      |                     | Atrasos na produção dos componentes.                                                      |
|                      |                     | Realização de um contrato irrealista.                                                     |

Tabela 13- Tabela de identificação dos riscos

### 6.2.7.3 Análise Qualitativa

Seguidamente à identificação e categorização dos riscos, é possível classificá-los de acordo com o objetivo do projeto, isto é, com o objetivo no custo, prazo e desempenho. Como tal, a sua criticidade para o projeto em causa teve em ponderação a probabilidade e o impacto no projeto. A Tabela 14 apresenta um exemplo de como os riscos foram avaliados.

| Risco                                                                                 | Probabilidade | Consequência | Avaliação do risco |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------|
| Dificuldades no acesso devido a desníveis acentuado e encostas íngremes sem proteção. | Provável      | Baixa        | Médio              |

|                                                                                                                            |             |                |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-------|
| Incumprimento dos requisitos de qualidade mínimos da plataforma, nomeadamente a dimensão do talude e nivelamento do mesmo. | Possível    | Moderada       | Médio |
| Necessidade de fundações mais profundas.                                                                                   | Improvável  | Moderada       | Médio |
| Equipa parada devido a Ventos superiores a 10 m/s.                                                                         | Provável    | Moderada       | Médio |
| Atrasos no projeto, devido a acidentes de trabalho.                                                                        | Improvável  | Moderada       | Médio |
| Adaptação do Cronograma devido à migração da Fauna.                                                                        | Quase certa | Moderada       | Alto  |
| Atrasos no projeto devido a pandemias.                                                                                     | Provável    | Alta           | Alto  |
| Roubo                                                                                                                      | Possível    | Alta           | Médio |
| Degradação de componentes                                                                                                  | Improvável  | Moderada       | Médio |
| Atrasos devido à falta de experiência da equipa relativamente à máquina a ser montada.                                     | Improvável  | Moderada       | Médio |
| Impossibilidade de usar duas equipas de montagem devido a limitação de recursos humanos.                                   | Possível    | Moderada       | Médio |
| Atrasos devido a danos no transporte de componentes                                                                        | Possível    | Moderada       | Médio |
| Risco de atrasos ao projeto devido a questões de Financiamento.                                                            | Possível    | Alta           | Médio |
| Incumprimento das datas de energização.                                                                                    | Possível    | Insignificante | Baixo |
| Conflito de recursos com outros projetos.                                                                                  | Possível    | Moderada       | Médio |
| Atrasos na produção dos componentes.                                                                                       | Improvável  | Moderada       | Médio |
| Realização de um contrato irrealista.                                                                                      | Possível    | Alta           | Médio |

Tabela 14 - Avaliação quantitativa do risco

#### 6.2.7.4 Análise Quantitativa

Após a análise qualitativa é recomendado, de modo a se poder categorizar economicamente o risco, realizar uma análise quantitativa. Como referido anteriormente, a utilização do *Expected Monetary Value* (EMV) é útil para estabelecer uma contingência de reserva e estabelecer um plano de resposta ao risco.

Na Tabela 15 apresenta-se uma análise qualitativa, referente ao projeto em estudo. A escala de valores monetários definida é meramente indicativa e apenas serve de referência para aplicação das técnicas aprendidas no exercício em questão.

| <b>Risco</b>                                                                                                               | <b>Probabilidade [%]</b> | <b>Impacto [K€]</b> | <b>EMV [K€]</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Dificuldades no acesso devido a desníveis acentuado e encostas íngremes sem proteção.                                      | 75                       | 40                  | 30              |
| Incumprimento dos requisitos de qualidade mínimos da plataforma, nomeadamente a dimensão do talude e nivelamento do mesmo. | 50                       | 60                  | 30              |
| Necessidade de fundações mais profundas.                                                                                   | 25                       | 60                  | 15              |
| Equipa parada devido a Ventos superiores a 10 m/s.                                                                         | 50                       | 60                  | 30              |
| Atrasos no projeto, devido a acidentes de trabalho.                                                                        | 25                       | 60                  | 15              |
| Adaptação do Cronograma devido à migração da Fauna.                                                                        | 90                       | 60                  | 54              |
| Atrasos no projeto devido a pandemias.                                                                                     | 75                       | 80                  | 60              |
| Roubo                                                                                                                      | 50                       | 80                  | 40              |
| Degradação de componentes                                                                                                  | 25                       | 60                  | 15              |
| Atrasos devido à falta de experiência da equipa relativamente à máquina a ser montada.                                     | 25                       | 60                  | 15              |
| Impossibilidade de usar duas equipas de montagem devido a limitação de recursos humanos.                                   | 50                       | 60                  | 30              |
| Atrasos devido a danos no transporte de componentes                                                                        | 50                       | 60                  | 30              |
| Risco de atrasos ao projeto devido a questões de Financiamento.                                                            | 50                       | 80                  | 40              |
| Incumprimento das datas de energização.                                                                                    | 50                       | 20                  | 10              |
| Conflito de recursos com outros projetos.                                                                                  | 50                       | 60                  | 30              |
| Atrasos na produção dos componentes.                                                                                       | 25                       | 60                  | 15              |
| Realização de um contrato irrealista.                                                                                      | 50                       | 80                  | 40              |

Tabela 15 - Avaliação quantitativa do risco

#### 6.2.7.5 Plano de Resposta ao Risco

O planeamento de resposta ao risco consiste, inicialmente, em classificar os riscos. Neste caso, de forma decrescente relativamente ao *Expected Monetary Value* e seguidamente analisá-los individualmente, definindo estratégias iniciais de resposta. Estas estratégias

orientam para ações planeadas, no sentido de evitar, transferir, mitigar e aceitar o risco. Visto tratar-se de medidas iniciais, é altamente expectável a revisão periódica das mesmas, ao longo do ciclo de vida do projeto.

Após todo o processo de identificação, categorização e classificação, os riscos foram ordenados de forma decrescente, relativamente ao EMV, sendo posteriormente analisados individualmente. Na Tabela 16, mostra-se um exemplo de um planeamento de resposta ao risco, aplicado ao exercício em estudo neste capítulo.

| <b>Título do Risco</b>                                          | <b>EMV [K€]</b> | <b>Resposta ao Risco</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Atrasos no projeto devido a pandemias.                          | 60              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuir a rotatividade das equipas no projeto.</li> <li>- Garantir o fornecimento atempado de todos os componentes necessários.</li> <li>- Evitar a inicialização do projeto caso se anteveja ou haja um elevado risco de contágio pandémico.</li> </ul> <b>(Evitar/Mitigar)</b> |
| Adaptação do Cronograma devido à migração da Fauna.             | 54              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planear o início da montagem dos aerogeradores para após esse período, evitando assim interrupções de obra.</li> </ul> <b>(Evitar)</b>                                                                                                                                            |
| Roubo                                                           | 40              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar longas permanências dos componentes em parque.</li> <li>- Contratar uma equipa de vigilância para o parque.</li> </ul> <b>(Mitigar)</b>                                                                                                                                    |
| Risco de atrasos ao projeto devido a questões de Financiamento. | 40              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoiar o Cliente no processo de Financiamento.</li> <li>- Assegurar a compatibilidade do cronograma de projeto com as fases de financiamento requeridas.</li> </ul> <b>(Evitar/Mitigar)</b>                                                                                       |
| Realização de um contrato irrealista.                           | 40              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Envolver todos os departamentos antes da realização de uma oferta comercial.</li> <li>- Realizar uma previsão realista dos custos do projeto.</li> </ul>                                                                                                                          |

|                                                                                                                            |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                            |    | <b>(Evitar)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dificuldades no acesso devido a desníveis acentuado e encostas íngremes sem proteção.                                      | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar a aderência do piso, nos segmentos de maior inclinação.</li> <li>-Providenciar um caminhão de tração para auxiliar a entrega dos componentes mais pesados</li> </ul> <b>(Evitar/Mitigar)</b>                                                                             |
| Incumprimento dos requisitos de qualidade mínimos da plataforma, nomeadamente a dimensão do talude e nivelamento do mesmo. | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exigir à entidade subcontratada, os padrões de qualidade, previamente requisitados na fase de concurso para a adjudicação da obra.</li> <li>-Providenciar à entidade subcontratada todos os requisitos necessários e documentação técnica para a obra.</li> </ul> <b>(Evitar)</b> |
| Equipa parada devido a Ventos superiores a 10 m/s.                                                                         | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilizar a fase de montagem mecânica do projeto para a estação do ano climatericamente mais favorável.</li> <li>- Negociar contratualmente os dias de paragem devido ao mau tempo.</li> </ul> <b>(Evitar/Transferir)</b>                                                         |
| Impossibilidade de usar duas equipas de montagem devido a limitação de recursos humanos.                                   | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir, junto da entidade contratada, para a instalação, se existe disponibilidade e recursos para a montagem simultânea de duas frentes do projeto.</li> </ul> <b>(Evitar/ Transferir)</b>                                                                                     |
| Atrasos devido a danos no transporte de componentes                                                                        | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar uma boa análise dos componentes aquando da entrega em obra.</li> <li>- Garantir, junto da entidade transportadora a responsabilidade por danos causados durante o transporte.</li> </ul> <b>(Transferir)</b>                                                             |

|                                                                                        |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conflito de recursos com outros projetos.                                              | 30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Priorizar projetos, clientes e políticas internas de desenvolvimento.</li> <li>- Planear e ajustar o cronograma relativamente à disponibilidade de equipamentos em parque.</li> </ul> <p><b>(Evitar/Mitigar)</b></p>                                                                                    |
| Necessidade de fundações mais profundas.                                               | 15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar um estudo geológico com mais do que uma prospeção, no local de cada fundação.</li> </ul> <p><b>(Evitar/Aceitar)</b></p>                                                                                                                                                                        |
| Atrasos no projeto, devido a acidentes de trabalho.                                    | 15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar o cumprimento de todas as normas de segurança no trabalho.</li> <li>- Garantir o uso obrigatório dos EPI's.</li> <li>- Fornecer formação adequada para as tarefas em questão.</li> </ul> <p><b>(Evitar)</b></p>                                                                               |
| Degradação de componentes                                                              | 15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar um bom condicionamento e isolamento dos componentes a ser entregues, nomeadamente os componentes elétricos.</li> <li>- Evitar a exposição prolongada dos componentes aos elementos.</li> <li>- Implementar e cumprir a política <i>just in time</i></li> </ul> <p><b>(Evitar/Mitigar)</b></p> |
| Atrasos devido à falta de experiência da equipa relativamente à máquina a ser montada. | 15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar, através da matriz de valências, os requisitos mínimos das equipas de instalação.</li> <li>- Realizar ações de formações específicas.</li> </ul> <p><b>(Evitar/Mitigar)</b></p>                                                                                                               |
| Atrasos na produção dos componentes.                                                   | 15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar, junto dos parceiros produtivos, espaço e compromisso, para a produção dos equipamentos necessários, comprometendo-se com previsão da data de entrega.</li> </ul> <p><b>(Evitar/Transferir)</b></p>                                                                                           |

|                                         |    |                                                               |
|-----------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------|
| Incumprimento das datas de energização. | 10 | - Providenciar um Pré-comissionamento.<br><b>(Transferir)</b> |
|-----------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------|

Tabela 16 - Plano de resposta ao risco

### 6.2.8 Orçamento Pré Contratual

Como referido no capítulo de introdução teórica, a orçamentação passa por várias fases ao longo do projeto.

Numa fase pré contratual, correspondentemente à fase de iniciação do projeto e com a finalidade de responder celeremente a um pedido de cotação ou um concurso público, é elaborado um pré-cálculo líquido do custo do projeto. Este corresponde ao cálculo dos custos em condições ótimas, isto é, sem riscos e sem contingências, sendo inalterável durante todo o projeto.

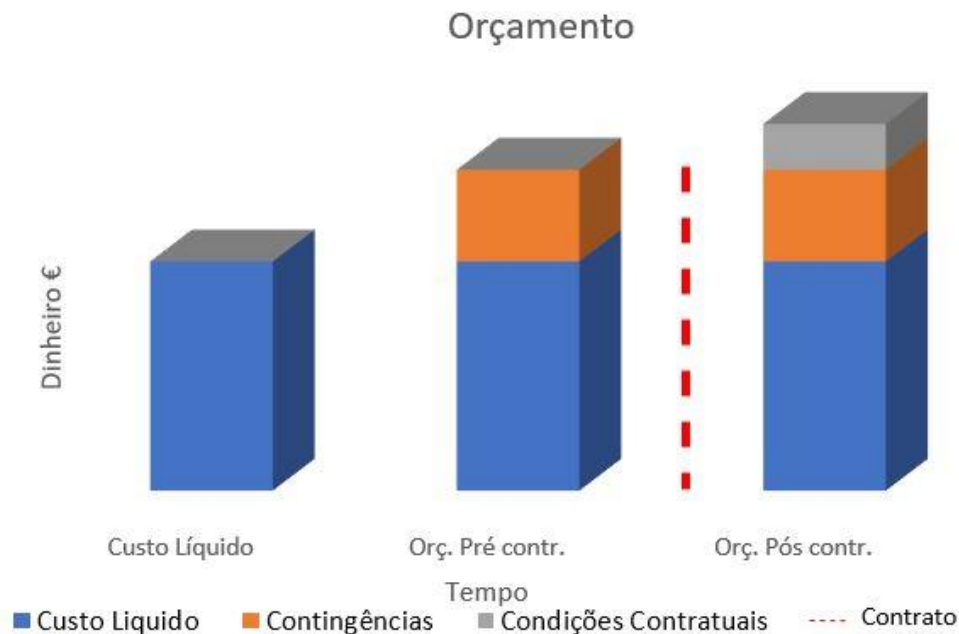
Na mesma fase pré contratual, é iniciada a elaboração de um outro pré-cálculo referente às contingências, que, como o nome indica, é uma reserva orçamental para mitigar o impacto de uma ocorrência, prevista no estudo de gestão de risco, realizada anteriormente, clarificando assim com o auxílio da equação (4).

$$\text{Orç. Pré Contratual} = \text{Cálculo Do Custo Líquido} + \text{Contingências} \quad (4)$$

Após a assinatura de contrato, inicia-se a fase de planeamento do projeto, mutuamente é nesta etapa que o orçamento pré contratual sofre uma alteração, pois ao valor pré-contratual são somadas as condições contratuais, como se verifica na equação (5).

$$\text{Orç. Pós Contratual} = \text{Orç. Pré Contratual} + \text{Condições Contratuais} \quad (5)$$

De forma a clarificar este conceito, o Gráfico 4 esboça a evolução do orçamento entre a fase de iniciação e de planeamento do projeto.



**Gráfico 4 - Evolução do orçamento ao longo da fase contratual**

Posto isto, o Orçamento Pré Contratual, após a inclusão das condições contratuais não se altera ao longo do restante ciclo de vida do projeto, sendo assim um orçamento estático.

Quando o projeto entra em fase de implementação, o responsável pela gestão orçamental deve controlar os custos a qualquer instante do projeto, introduzindo para esse efeito o EAC, que é denominado um orçamento dinâmico e tem como finalidade a estimativa dos custos possíveis, durante e após a realização de cada tarefa do plano de trabalhos.

Esta ferramenta, permite também, prever o custo final do projeto, sendo assim um instrumento preditivo, que pode ser expresso pela seguinte equação (6).

$$EAC = \text{Custo atual} + \text{Custo restante} + \text{Riscos} \quad (6)$$

Esta ferramenta incorpora toda a teoria da gestão de custo, executando, com diferentes processos, mas com os mesmos princípios, o cálculo do valor estimado no fim do projeto ou no fim de cada tarefa.

Assim sendo, com o objetivo de exemplificar uma orçamentação simplificada do custo líquido de um projeto de parque eólico, aplicar-se-á esta orçamentação ao projeto do Parque Eólico do Arnal.

### 6.2.8.1 Orçamento Para a Construção do Parque Eólico do Arnal

Um orçamento para o um parque eólico depende do tipo de contrato que se pretende, pois este pode incluir apenas montagem e fornecimento dos aerogeradores ou, como é o caso deste exemplo, incluir toda a construção civil, fornecimento e montagem dos aerogeradores e instalação elétrica, mais conhecido como projeto “chave na mão”.

O orçamento para o parque eólico deste exercício será dividido em três grandes grupos, nomeadamente à construção civil (onde irá constar a construção do edifício de comando e subestação, fundações, plataformas, acessos e vala de cabos) ao fornecimento e montagem do aerogerador e, por último, os equipamentos elétricos necessários à boa operação do parque.

Na Tabela 17, apresenta-se, de uma forma sucinta, os parâmetros principais a orçamentar num projeto, sendo que os seus valores são apenas exemplificativos, expressos com o intuito de sensibilizar quanto à sua ordem de grandeza e são baseados no (Wizelius, 2006). Os valores apresentados são referentes a cada 1 MW de potência a ser instalada.

| <b>Alocações</b>                | <b>€/MW</b>    |
|---------------------------------|----------------|
| <b>Aerogerador</b>              | 800 000        |
| <b>Fundações do Aerogerador</b> | 65 000         |
| <b>Estradas e Acessos</b>       | 11 000         |
| <b>Conexão à Rede</b>           | 65 000         |
| <b>Terrenos</b>                 | 27 000         |
| <b>Contingências de Projeto</b> | 22 000         |
| <b>Custo Total</b>              | <b>990 000</b> |

**Tabela 17 - Preço estimado por cada MW de potência instalada**

Com a Tabela 17, é possível verificar que o preço indicativo para um contrato de “chave na mão” rondará os 990.000€ por cada MW de potência instalada.

Como referido anteriormente o parque eólico do Arnal terá uma potência instalada de 21,15 MW. Assim, com o auxílio de uma extrapolação de dados, o orçamento indicativo, com base na tabela anterior, está apresentado na Tabela 18.

| <b>Alocações</b>                | <b>€</b>   |
|---------------------------------|------------|
| <b>Aerogerador</b>              | 17 200 000 |
| <b>Fundações do Aerogerador</b> | 1 374 750  |
| <b>Estradas e Acessos</b>       | 232 650    |

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Conexão à Rede           | 1 374 750        |
| Terrenos                 | 571 050          |
| Contingências de Projeto | 465 300          |
| <b>Custo Total</b>       | <b>21218 500</b> |

**Tabela 18- Custo distribuído do parque eólico do Arnal**

Na Tabela 18 verificamos que o custo de aquisição indicativo do parque eólico do Arnal rondará os 21.218.500€.

### 6.2.9 Análise de Investimento

Como se pode verificar na Tabela 18 o custo total de um parque eólico de média dimensão é elevado e, para que este investimento tenha o desempenho esperado, há que ter em conta os fatores mais decisivos, que são o *CAPEX* e o *OPEX*, isto é, o custo da aquisição do projeto e o custo de operação e manutenção do ativo. Para além destes fatores, o projeto possui outros custos referentes ao financiamento, que podem variar consoante o seu tipo.

Os aerogeradores são dimensionados para um ciclo de vida de 25-30 anos, podendo, após este período, receber intervenções e atualizações para o prolongar, no entanto este prolongamento possui um nível de incerteza elevado.

Como esperado, os custos de manutenção aumentam com a idade do ativo, no entanto, o ciclo de vida técnico pode ser maior do que o ciclo de vida económico, isto é, por exemplo, após 20 anos de utilização, os custos de manutenção podem já ser tão elevados, que justifique a substituição do aerogerador, por um mais recente e eficiente. Deste modo, economicamente têm de se definir um tempo de depreciação de 20 anos e um retorno de investimento a rondar os 10-12 anos. Se após estes 20 anos o aerogerador continuar a produzir sem problemas, os lucros serão maiores do que o previsto, caso contrário deixa de ser viável.

#### 6.2.9.1 Custos de Operação e Manutenção

Comparativamente a outras máquinas, os aerogeradores também necessitam de manutenção. Dependendo do plano de manutenção de cada aerogerador, e dependendo também do contrato para a realização desse plano, normalmente cada aerogerador é intervencionado duas vezes por ano. Sendo que, em regra geral, a manutenção nos dois primeiros anos está incluída no contrato de aquisição. Após este período é acordado um contrato de manutenção.

Para além dos custos com a manutenção, existem custos de operação, como os custos administrativos, custos relativos a seguros, taxas, impostos, conexão à internet e custos com a

medição de produção. Na Tabela 19, apresentam-se os custos anuais indicativos relativamente à operação e manutenção de um aerogerador, por MW de potência instalada.

| Despesas                             | €/MW          |
|--------------------------------------|---------------|
| Serviço de Manutenção                | 4300          |
| Seguros                              | 4300          |
| Medições (Despesa/WEC)               | 750           |
| Conexão à Internet (Despesa/WEC)     | 215           |
| Impostos                             | 3440          |
| Taxas (Despesa/WEC)                  | 110           |
| Custos Administrativos (Despesa/WEC) | 540           |
| <b>Custo Total /Ano:</b>             | <b>13 655</b> |

**Tabela 19- Custo anual de operação e manutenção por cada MW de potência instalada, adaptado de (Wizelius, 2006)**

Como podemos verificar na Tabela 19, o custo operacional de um parque eólico ronda os 13.655€ por ano por cada MW de potência instalada. Assim sendo, a partir destes dados, será efetuada a extrapolação para a potência a instalar no exercício do atual capítulo.

Os custos de operação e manutenção anuais para o parque eólico do Arnal estão apresentados na Tabela 20. De notar que algumas despesas são fixas por aerogerador, independentemente da potência instalada.

| Despesas                 | €/MW           |
|--------------------------|----------------|
| Serviço de Manutenção    | 90 945         |
| Seguros                  | 90 945         |
| Medições                 | 6 750          |
| Conexão à Internet       | 1 935          |
| Impostos                 | 72 756         |
| Taxas                    | 990            |
| Custos Administrativos   | 4 860          |
| <b>Custo Total /Ano:</b> | <b>269 181</b> |

**Tabela 20- Custo anual de operação e manutenção do parque eólico do Arnal**

Através da Tabela 20 é possível concluir que o custo anual de operação e manutenção para o parque eólico do Arnal rondará os 269.181€ por ano.

### 6.2.9.2 Lucro de um Parque Eólico

A receita principal de um parque eólico baseia-se na venda de energia elétrica. Para tal, o dono do projeto deve estabelecer um contrato de compra e venda de energia com a distribuidora da mesma. A grande imprevisibilidade deste modelo de negócio é o preço de venda do kWh.

Outras receitas, embora substancialmente mais pequenas, provêm de incentivos ao suporte e desenvolvimento das fontes de energia renovável, com vista a promover a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Para ser possível quantificar a receita total do ativo, ter-se-á de arbitrar um preço do kWh para os 20 anos de operação das máquinas. Visto que o cálculo das receitas será um fator decisivo relativamente ao investimento, deve-se sempre realizá-lo prevendo o pior cenário possível, diminuindo assim o risco no investimento.

No exemplo de análise para o exercício em questão, assumir-se-á como preço de venda de energia, os 0,0466€/kWh, que é um preço bastante baixo comparativamente aos padrões Europeus.

Admitindo que os aerogeradores instalados, com base no estudo de vento realizado anteriormente, trabalham 2800 horas equivalentes à potencia nominal, que é o mínimo esperado para o local de implementação, espera-se então uma produção anual de 59,220,000 kWh.

O lucro anual é calculado pela equação (7) em que o lucro anual (La) é igual à receita anual (R) menos o custo anual equivalente (Ce) e o custo de operação e manutenção (OM).

$$La = R - Ce - OM \quad (7)$$

A receita anual (R) é calculada multiplicando a unidade de energia produzida pelo preço da unidade, que neste caso corresponde à quantidade de energia produzida num ano, multiplicando-a pelo preço de cada unidade dessa energia.

$$R = 59\,220\,000 \text{ kWh} * 0.0466 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2\,759\,652 \text{ €}$$

O custo anual equivalente ( $C_e$ ), neste caso, será calculado anualmente, considerando uma taxa de juro e uma amortização constante. O custo anual equivalente é então dado pela equação (8), em que ( $a$ ) refere-se à anuidade e ( $I_i$ ) ao investimento inicial.

$$C_e = a * I_i \quad (8)$$

A anuidade ( $a$ ) é calculada a partir da equação (9), em que ( $r$ ) é a taxa de juro, que neste caso será arbitrado um valor de 6% e ( $n$ ) o número de anos de depreciação, que no exemplo são 20 anos.

$$a = \frac{r*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = \frac{0.06*(1.06)^{20}}{(1.06)^{20} - 1} = 0.087185 \quad (9)$$

Como o investimento ( $I_i$ ) inicial é dado pela Tabela 18, o custo anual equivalente ( $C_e$ ) é dado por:

$$C_e = 0.087185 * 21\,218\,500 = 1\,849\,935\text{€}$$

Assim sendo, e como o custo de operação e manutenção anual ( $OM$ ) é dado pela Tabela 20 o lucro líquido anual ( $La$ ) é:

$$La = 2\,759\,652 - 1\,849\,935 - 269\,181 = 640\,536\text{€}$$

### 6.2.9.3 Retorno do Investimento

Um dos métodos mais usados para avaliar um investimento é a mensuração do retorno do investimento, isto é, quanto tempo irá demorar para recuperar o investimento inicial. O tempo de retorno é dado pela seguinte equação (10):

$$T = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Receita anual líquida}} \quad (10)$$

Aplicando esta ferramenta ao exemplo enunciado, podemos concluir que o tempo de retorno do investimento é dado por:

$$T = \frac{21\,218\,500}{2\,759\,652 - 269\,181} = 8,5 \text{ anos}$$

#### 6.2.9.4 Levelized Cost of Energy

O Levelized cost of energy (LCOE) é muito usado pelos investidores, por forma a poder comparar diferentes tecnologias de geração. Esta ferramenta traduz o preço por cada MW instalado, tendo em conta a construção, operação e manutenção ao longo de todo o ciclo de vida da tecnologia de geração. Permitindo assim comparar, pelo ponto de vista económico, formas de geração muito distintas.

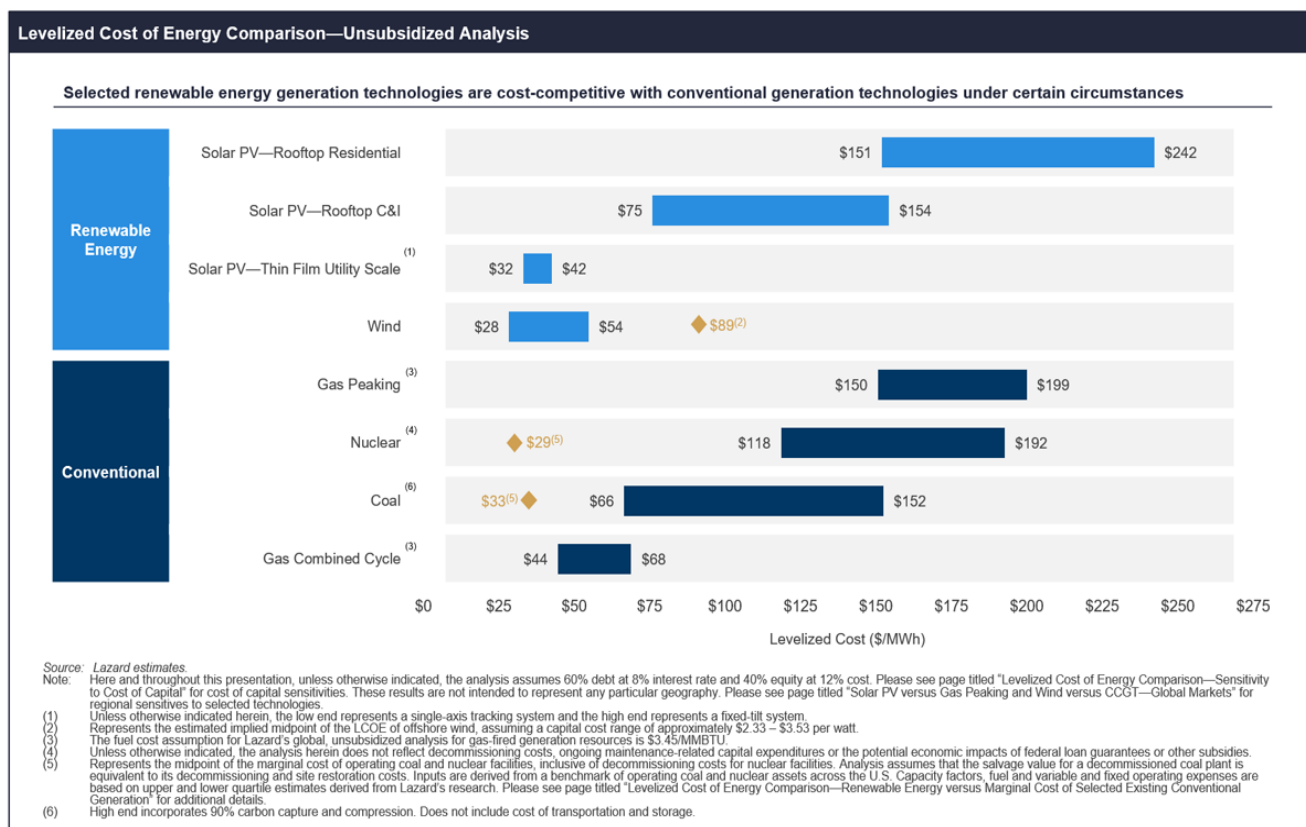
O cálculo do LCOE pode ser feito através da equação (11).

$$LCOE = \frac{Ce+OM}{MWh/ano} \quad (11)$$

Assim sendo, o LCOE para o exemplo estudado é

$$LCOE = \frac{1\,849\,935 + 269\,181}{59\,220} = 35.78 \frac{\text{€}}{MWh}$$

Para efeitos de comparação, o Gráfico 5 ilustra o LCOE para as variadas fontes de geração de energia, com intervalos de valores médios para cada fonte. Neste caso, podemos verificar o LCOE obtido para o exercício em questão, está no intervalo de valores médios referentes ao setor eólico.



**Gráfico 5 - Intervalos de LCOE para diferentes tecnologias de geração (Lazard, 2020)**

### 6.3 Conclusão do Exercício do Parque Eólico do Arnal

A realização deste exercício, meramente acadêmico, possibilitou aprofundar, aplicar e demonstrar os conhecimentos adquiridos com a realização do estágio curricular e com o estudo da teoria da gestão de projeto.

Numa primeira fase deste exercício foi realizado um enunciado teórico por forma a, academicamente, poder simular os passos no planeamento da construção de um parque eólico, introduzindo, as variáveis necessárias para iniciar o estudo.

Seguidamente, e com o objetivo de definir o melhor local de construção do parque eólico, foi efetuado um estudo de vento, recorrendo a mapas de vento do LNEG, e um estudo de impacto ambiental. Consultando e extrapolando dados de projetos vizinhos ao local de estudo, concluiu-se que seria necessário instalar 9 aerogeradores E-92, por forma a cumprir a potência a instalar.

Após a escolha do local, foi realizada uma caracterização do projeto em 2D e 3D, recorrendo às ferramentas Autocad® e InfraWorks®, ambas da Autodesk.

Em seguida à definição do layout, apresentou-se-se, de uma forma simplificada, os processos necessários para a montagem de um aerogerador.

Após a descrição dos processos de montagem, definiu-se um cronograma, recorrendo a um gráfico de Gantt, para apresentar e sequenciar todas as tarefas inerentes aos pequenos conjuntos de trabalhos necessários e que fazem parte da concretização de um projeto. concluiu-se que seriam necessários aproximadamente 5 meses para a construção total do parque eólico.

Na fase seguinte, foi realizada uma análise de risco ao projeto, com foco no seu desempenho. Para tal, foi realizada uma identificação e classificação dos riscos, que posteriormente permitiram esboçar um plano de resposta aos riscos.

Por fim, e com o objetivo de demonstrar as vantagens económicas, para além das ambientais, da utilização desta tecnologia de geração, realizou-se uma orçamentação não detalhada, mas aplicada ao exercício em estudo, resultando posteriormente num estudo de viabilidade económica do projeto. Conclui-se que este projeto teria um custo aproximado de 21,218,500€ e o seu retorno de investimento seria em cerca de 8,5 anos.

Após a análise de investimento e com o objetivo de comparar preços de tecnologias de geração de energia, chegou-se à conclusão de que o LCOE para este projeto seria de 35,78€/MWh, encontrando-se dentro do intervalo padrão previsto e praticado pelo mercado.

## 7 Considerações Finais

O desenvolvimento deste documento teve como objetivo dar a conhecer os conteúdos abordados no estágio curricular. Embora não seja um documento que mostre aprofundadamente os desafios da gestão de projeto de parques eólicos, é perceptível a “bagagem” necessária para entrar neste setor, que se encontra em grande expansão na Europa e no Mundo.

Com o aumento progressivo e natural da concorrência, é obrigatório uma otimização constante de processos e métodos de trabalho, com um objetivo final muito simples e trabalhosos que é baixar o LCOE.

Foi possível observar que a empresa possui uma enorme força e presença no mercado eólico internacional, sendo ainda pioneiro na tecnologia, no desenvolvimento e melhoria cíclica. Apostando sempre na qualidade e fiabilidade dos seus produtos, sendo reconhecida pelos seus clientes por isso.

Este estágio curricular foi, sem dúvida alguma, construtivo e enriquecedor para o estagiário, pois embora não se tenham cumprido todos os objetivos definidos inicialmente, a aprendizagem foi diária, com uma integração excecional na empresa, por parte de todos os colaboradores, que trabalham numa atmosfera muito dinâmica e construtiva. Durante o estágio, foi também possível ter contacto com pessoas de cultura e países diferentes, sendo também enriquecedor, quer a nível de valência linguística, assim como de enriquecimento cultural.

A nível técnico, durante este estágio foi possível conhecer todos os departamentos adjacentes ao PLM, sendo possível participar e aplicar as teorias de gestão de projeto, em projetos de construção de parques eólicos na Grécia, Ilhas Canárias, Ilha da Madeira, Norte de Espanha, Itália e na Suécia. Sendo que, para o projeto das Ilhas Canárias foi possível participar no desenvolvimento do cronograma de projeto e acompanhar o seu dia-a-dia, participando em reuniões regulares com as equipas no terreno, auxiliando na discussão para a resolução de não conformidades e acompanhamento da gestão de equipas, com o objetivo de monitorizar o cumprimento dos prazos e custos, pré-estabelecidos. Também possível participar em formações destinadas ao controlo e inspeção da qualidade, tendo sido realizado também um apoio técnico relativamente às instruções de montagem dos aerogeradores.

Conclui-se assim que, com as valências adquiridas, os objetivos de aprendizagem e iniciação no mercado de trabalho foram alcançados, o que proporcionou um crescimento pessoal e profissional.

## 8 Referências Bibliográficas

APREN. (2020). *Anuário 2019*. APREN.

Arvha. (11 de Dezembro de 2019). *Arvha*. Obtido de [http://www.arvha.org/sitescd/espagne/2\\_er/a\\_energ/tipos/eolica/eolic4.htm](http://www.arvha.org/sitescd/espagne/2_er/a_energ/tipos/eolica/eolic4.htm)

Castro, R. (2011). *Uma Introdução Às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica E Mini-Hídrica*. IST Press.

Comissão Europeia. (20 de 11 de 2019). Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2014:0008:FIN:PT:PDF>

EDP. (26 de Novembro de 2019). *EDP*. Obtido de <https://www.edp.com/pt-pt/windfloat>

Enercon. (28 de Junho de 2020). *Archi Expo*. Obtido de <https://www.archiexpo.com/prod/enercon/product-88093-969034.html>

HMV Engineering. (24 de Abril de 2020). Obtido de <https://twitter.com/HMVEngineering/status/866973469212278784/photo/1>

Industrial Audit. (28 de Novembro de 2019). Obtido de <http://industrialaudit.com/risk-mitigation>

John Wiley & Sons, LTD. (2001). *Wind Energy*. England: John Wiley & Sons, LTD.

LASO. (21 de Maio de 2020). Obtido de <https://www.linkedin.com/posts/laso-transportes-s-a-ultrapassamosobstaculos-overcomingobstacles-activity-6669163532963078144-NBVF>

Lazard. (18 de Maio de 2020). Obtido de <https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019>

Liebherr. (11 de Maio de 2020). Obtido de <https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/818274/liebherr-261-lr-1750-2-td-261-01-defisr01-2019.pdf>

Mulcahy, R. (2013). *PMP Exam Prep*. RMC.

PMI Portugal. (15 de 11 de 2019). *PMI Portugal*. Obtido de [www.pmi-portugal.org](http://www.pmi-portugal.org)

Project Management Institute. (2013). *A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (Fifht Edition)*. PMI.

Silva, B. (2019). WindEurope. Portugal tem potencial para ter 9 GW de eólico offshore em 2050. *Dinheiro Vivo*.

*The Civil Engineer*. (5 de Março de 2020). Obtido de [https://www.thecivilengineer.org/media/k2/items/cache/87c7d648151f5cd3be35a0e8c0f9fae0\\_XL.jpg](https://www.thecivilengineer.org/media/k2/items/cache/87c7d648151f5cd3be35a0e8c0f9fae0_XL.jpg)

Wind Europe. (28 de Junho de 2020). *Wind Europe* . Obtido de <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Our-Energy-Our-Future.pdf>

*Wind Park Ferrum* . (8 de Maio de 2020). Obtido de [http://www.windparkferrum.nl/files/dec2016/Bijlage\\_2-2\\_Specificaties\\_Turbines\\_3.pdf](http://www.windparkferrum.nl/files/dec2016/Bijlage_2-2_Specificaties_Turbines_3.pdf)

Wizelius, T. (2006). *Developing Wind Power Projects*. London: Earthscan.



## **Anexos**

Anexo A

