

Anexo 4 – Pedido de Título de Utilização Privativo do Espaço Marítimo, Projeto Caravela Verde – Memória Descritiva do Projeto

Proponente: Gazelle Wind Power Portugal

Referência: Pedido de TUPEM

Versão: V01

05/06/2024

Este documento foi preparado por WavEC Offshore Renewables (www.wavec.org, mail@wavec.org) a pedido de Gazelle Wind Power Portugal (www.gazellewindpower.com, info@gazellewindpower.com) com o objetivo de submeter um pedido de Título de Utilização Privativa do Espaço Marítimo Nacional com o objetivo de levar a cabo a exploração de energias renováveis.

Controlo

Versão	Data	Autores	Revisão	Aprovação	Estado
V01	05/06/2024	M. Amado	I. Machado	D. Sequeira	Aprovado

Versão	Página	Modificações

ÍNDICE

Lista de Acrónimos e Abreviaturas.....	4
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas.....	5
1. Introdução.....	6
1.1. Finalidade do presente documento	6
1.2. Identificação do proponente.....	6
1.3. Justificação do pedido de TUPEM	6
2. Descrição do Projeto.....	7
2.1. Introdução.....	7
2.2. Objetivos da Tecnologia	8
2.3. Visão Geral do Projeto.....	9
2.4. Princípio da Tecnologia	10
2.5. Descrição do Sistema	11
2.5.1. Subestrutura flutuante: alavancas e plataforma	11
2.5.2. Sistema de amarração incluindo fundações.....	14
2.5.3. Sistema umbilical	19
2.5.4. Turbina eólica (WTG).....	20
3. Operações a Realizar Durante o Projeto.....	21
3.1. Fabrico, montagem, Transporte e Instalação	21
3.1.1. Fabrico.....	21
3.1.2. Montagem.....	22
3.1.3. Integração da turbina e montagem da nacelle e pás.....	23
3.1.4. Transporte Marítimo.....	24
3.1.5. Instalação	24
3.2. Operações e Manutenção.....	25
3.3. Fase de Destivação do Projeto	28
4. Localização da Infraestrutura no Espaço Marítimo Nacional	29

LISTA DE ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AIP	<i>Approval in Principle</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CIO	<i>Chief Innovation Officer</i>
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
FEED	<i>Front-end engineering design</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
GWP	Gazelle Wind Power Limited
GWP PT	Gazelle Wind Power Portugal
I&D	Investigação e Desenvolvimento
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
O&M	Operações e Manutenção
PET	Tereftalato de polietileno
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RNA	<i>Rotor Nacelle Assembly</i>
TLP	<i>Tension-Leg Platform</i>
TRL	Nível de Prontidão Tecnológica
ULS	<i>Ultimate Limit State</i>
WP	Pacote de trabalho
WTG	<i>Wind Turbine Generator</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Plataforma da GWP incluindo a WTG.	8
Figura 2-2. Deslocamento vertical.	11
Figura 2-3. Deslocamento lateral.	11
<i>Figura 2-4. Identificação dos componentes dos flutuadores.</i>	12
Figura 2-5. Principais Dimensões do flutuador.	13
Figura 2-6. Componentes do sistema de amarração.	15
Figura 2-7. Esquema de rotação das alavancas.	17
Figura 2-8. Exemplo de componentes do sistema de amarração.	17
Figura 2-9: Representação do compartimento de aço de um âncora.	18
Figura 2-10. Forma de lazy-wave.	19
Figura 3-1. Módulos principais da plataforma.	21
Figura 3-2. Local de montagem no Porto de Viana do Castelo.	22
Figura 3-3. Sequência de montagem.	23
Figura 3-4. Montagem, transporte e instalação da plataforma.	25
Figura 3-5. Local de acesso equipado com carrinho ou guindaste para operações de manutenção.	28
Figura 4-1. Localização do projeto Caravela Verde (zoom out).	29
Figura 4-2. Localização do projeto Caravela Verde (zoom in).	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Principais Dimensões do flutuador.	13
Tabela 2-2. Características do contrapeso.	16
Tabela 2-3. Características das alavancas.	16
Tabela 2-4. Especificações de rotação das alavancas.	17
Tabela 2-5. Especificações das linhas de amarração externas.	17
Tabela 2-6. Especificações das linhas de amarração internas.	18
Tabela 2-7. Dimensões da WTG.	21
Tabela 2-8. Características de referência do RNA.	21
Tabela 3-1. Manutenção de componentes críticos.	27

1. INTRODUÇÃO

1.1. FINALIDADE DO PRESENTE DOCUMENTO

O objetivo deste documento é fornecer, de forma exaustiva, a informação disponível sobre as características do projeto **Caravela Verde**, incluindo as estruturas flutuantes, os equipamentos, os materiais a utilizar, as instalações a utilizar e as características dos trabalhos a realizar. Podem também ser encontradas mais informações sobre outros temas do projeto, tais como o Plano de Monitorização Ambiental, o Plano de Assinalamento Marítimo, as Infraestruturas, o Plano de Resposta a Emergências e o Plano de Contingência, nos Anexos V a IX, respetivamente.

1.2. IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE

O proponente do projeto é a Gazelle Wind Power Portugal (doravante designada por GWP PT), subsidiária da Gazelle Wind Power Limited (doravante designada por GWP), uma empresa portuguesa dedicada à implementação do projeto piloto, denominado de **Caravela Verde**, ao largo da Aguçadoura. A GWP (www.gazellewindpower.com) é uma empresa focada no desenvolvimento de plataformas flutuantes, que visam servir de suporte para turbinas eólicas *offshore*. A GWP foi fundada com objetivo de promover a transição para as energias renováveis, introduzindo uma nova geração pioneira de plataformas eólicas *offshore*, que apresentam um sistema de amarração dinâmico inovador e patenteado. Nesse sentido, a empresa propõe uma plataforma revolucionária para o novo mercado de produção de energia eólica *offshore* flutuante. Esta inovação tecnológica dará um contributo significativo para o desenvolvimento do mercado das eólicas *offshore* flutuantes, que deverá atingir os 250 GW instalados até 2050.

1.3. JUSTIFICAÇÃO DO PEDIDO DE TUPEM

No âmbito do seu plano de desenvolvimento técnico, a GWP PT pretende instalar o projeto-piloto **Caravela Verde** ao largo da Aguçadoura para demonstrar a sua tecnologia inovadora que consiste numa plataforma flutuante fundeada através de um sistema de amarração atenuada. O projeto prevê a instalação de um protótipo à escala real de forma a aumentar o Nível de Prontidão Tecnológica (TRL – *Technology Readiness Level*) para o nível 8, visando atingir, à escala comercial, uma redução de custos que poderá ir até 30% no custo de utilização de materiais, fabrico e instalação da tecnologia.

A área *offshore* da Aguçadoura, no norte de Portugal, foi escolhida como o local adequado para cumprir os objetivos do **Caravela Verde**. Desta forma, é proposta a instalação de um protótipo de demonstração ao largo da costa da Aguçadoura, numa batimetria de 45-50 m. A demonstração poderá estender-se por 10 anos de operação durante os quais se realizarão vários testes ao protótipo. O sucesso do projeto irá contribuir para a liderança tecnológica de Portugal e da União Europeia na produção eólica *offshore*, e para o objetivo da neutralidade climática.

A plataforma eólica flutuante proposta proporcionará uma elevada redução de despesas de capital (CAPEX - *Capital Expenditure*) e operacionais (OPEX - *Operational Expenditure*)

graças à sua nova tecnologia de amarração disruptiva e design escalável. O sistema permitirá uma redução significativa no custo de fabricação associado à menor utilização de aço. Além disso, haverá uma significativa redução nos custos de instalação, comparada às soluções atuais, devido à rapidez na montagem e implementação da plataforma.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. INTRODUÇÃO

O design deste protótipo (Figura 2-1) é o resultado de mais de 13 anos de investigação e desenvolvimento (I&D) liderados pelo *Chief Innovation Officer* (CIO) da GWP, Dr. Antonio Garcia. O conceito e a sua viabilidade foram verificados, de forma independente, de acordo com os padrões da *Det Norske Veritas* (DNV) *Approval in Principle* (AIP). Testes à escala realizados em 2023 validaram o conceito através de ensaios em tanques de teste que se revelaram bem-sucedidos, realizados no Laboratório Costeiro de Plymouth, Reino Unido. De acordo com os resultados, a plataforma demonstra alta confiabilidade graças ao seu desempenho robusto em condições extremas. Os ângulos de inclinação e rotação permanecem sob controle, variando de $-9,8^\circ$ a $5,9^\circ$ mesmo em ondas extremas. As acelerações na nacelle são mantidas abaixo de 10 m/s^2 , garantindo a estabilidade dos componentes críticos. Além disso, todas as tensões nos cabos de amarração são consistentemente positivas, assegurando a integridade estrutural e o funcionamento seguro da plataforma em condições adversas.

O projeto pretende demonstrar a capacidade da tecnologia à escala de 2 MW e em ambiente real. No entanto, o design da plataforma flutuante proposto será escalável para turbinas eólicas de até 20 MW. A certificação DNV será incluída no projeto.

Na presente fase, o projeto irá contemplar a instalação de uma plataforma flutuante inovadora à escala real, incluindo a turbina eólica (WTG – *Wind Turbine Generator*) e equipamentos auxiliares, para ser testada em ambiente real e sob condições exigentes.

O protótipo será adaptado para dar resposta às condições operacionais em ambiente oceânico: isto é, a possibilidade de operação em águas profundas mais distantes das áreas costeiras do que atualmente (70-100 m de profundidade), requisitos reduzidos no cabo de conexão, cargas de amarração reduzidas, e existência de ligações destinadas a facilitar a produção e a manutenção.

A ambição da GWP com o seu conceito novo é alcançar reduções de custos significativas através da implementação de uma geometria de estrutura inovadora com um sistema de amarração que permita a separação das funções de flutuabilidade e estabilidade durante a operação.



Figura 2-1. Plataforma da GWP incluindo a WTG.

2.2. OBJETIVOS DA TECNOLOGIA

O objetivo da tecnologia GWP é desenvolver uma solução económica e rapidamente instalável possível de ser utilizada pelo sector eólico flutuante. Este objetivo é conseguido através do sistema de amarração exclusivo da GWP e do design da subestrutura flutuante, que foram devidamente adaptados para minimizar o uso de aço, reduzir a escala do sistema de amarração e ancoragem, e melhorar a estabilidade e a capacidade de sobrevivência em ambientes offshore.

Especificamente, a tecnologia da GWP tem como objetivos:

- **Reduzir custos e materiais:** Ao reduzir a quantidade de aço necessária e simplificar o sistema de amarração, a GWP visa reduzir os custos de produção e instalação em comparação com as plataformas eólicas offshore existentes.
- **Aumentar a estabilidade:** O sistema de amarração patenteado usa um mecanismo de contrapeso suspenso para mitigar as forças nas linhas de amarração e na própria estrutura, aumentando a estabilidade da plataforma em condições de mar desafiantes.
- **Facilitar a instalação rápida:** O design permite que as plataformas sejam fabricadas usando métodos convencionais de construção naval e instaladas rapidamente a partir de portos pouco profundos, o que é benéfico para a escalabilidade e capacidade de resposta às exigências do mercado.

Em última análise, a tecnologia da GWP procura reduzir os custos da energia eólica *offshore*, tornando-a uma opção mais viável e atraente para instalação à escala comercial, contribuindo para a transição global para fontes de energia renováveis.

2.3. VISÃO GERAL DO PROJETO

Este projeto tem como objetivo validar o desempenho, a fiabilidade e a relação custo-eficiência do sistema de amarração e do design da subestrutura flutuante únicos da GWP em condições reais de mar.

A demonstração será desenvolvida ao largo da costa da Aguçadoura, no norte de Portugal. Este local foi selecionado pelas suas condições ambientais, particularmente eólicas e marítimas, que se alinham estreitamente com as exigências do mercado e permitem comprovar a eficiência do protótipo. A área também beneficia da infraestrutura existente, incluindo um cabo de exportação de energia com ligação a uma subestação em terra, e ligação à rede já licenciada, facilitando a integração do projeto.

Objetivos para Demonstração:

- **Validação do desempenho:** Avaliar a funcionalidade da plataforma flutuante em termos de estabilidade, eficiência de geração de energia e adaptabilidade às condições do mar.
- **Custo-Eficiência:** Demonstrar as vantagens económicas do sistema GWP comparando-o com as soluções eólicas flutuantes tradicionais, com foco na redução do uso de materiais e custos de instalação.
- **Impacto Ambiental:** Avaliar a pegada ambiental da instalação e operação, focando o design do sistema para minimizar a perturbação ecológica.
- **Fomentar a partilha de conhecimento:** Criar parcerias com instituições académicas locais que permitam aproximar o projeto às comunidades locais e consciencializar para os benefícios da tecnologia da GWP na atual transição energética para soluções mais sustentáveis.

Este projeto-piloto é fundamental para provar a tecnologia GWP em escala e reduzir os riscos da operação. Uma validação bem-sucedida abrirá caminho para o licenciamento da tecnologia para desenvolvimento em escala comercial, com o objetivo de reduzir significativamente os custos e aumentar a velocidade de instalação da energia eólica *offshore* globalmente.

2.4. PRINCÍPIO DA TECNOLOGIA

O Princípio subjacente ao sistema de turbinas eólicas *offshore* flutuantes GWP pretende redesenhar a estabilização de estruturas flutuantes. Ao contrário das plataformas semi-submersíveis tradicionais, que dependem fortemente da área do plano de água para estabilidade, o sistema GWP usa um inovador sistema de amarração que emprega um contrapeso dinâmico e alavancas articuláveis.

O Princípio opera da seguinte forma:

- **Configuração da amarração:** O sistema consiste em três alavancas articuláveis ligadas por linhas de amarração a um contrapeso central. O design é semelhante a um semi-submersível, mas afasta-se dos modelos convencionais, minimizando a dependência da área de superfície flutuante para estabilidade.
- **Comprimentos de linha constantes:** Em condições de água parada, a plataforma move-se principalmente verticalmente (para cima e para baixo), e os comprimentos das linhas de amarração permanecem constantes (Figura 2-2 e Figura 2-3). As linhas externas L (esquerda) e R (direita) são iguais em comprimento, assim como as linhas de contrapeso.
- **Resposta às forças:** Quando forças externas, como o vento ou correntes (referida como força de arrasto), impactam a plataforma, ela desloca-se horizontalmente em direção ao sotavento (Figura 2-3). Este movimento faz com que as linhas de amarração de barlavento se estendam e as linhas de amarração de sotavento se retraiam. Simultaneamente, as linhas de contrapeso ajustam-se em conformidade, encurtando à medida que a plataforma se move para o sotavento e estendendo-se quando se move para o barlavento.
- **Equilíbrio dinâmico:** Os ajustes de tensão nas linhas de amarração facilitam a estabilidade e equilíbrio. O aumento da tensão na linha de barlavento e a diminuição da tensão na linha de sotavento trabalham juntos para estabilizar a plataforma horizontalmente. O contrapeso desempenha um papel crítico aqui, ajustando-se dinamicamente para manter a tensão em todo o sistema, garantindo a estabilidade da plataforma.

O princípio da GWP permite que a plataforma flutuante mantenha a estabilidade com menos dependência da área de superfície flutuante e mais de ajustes dinâmicos de tensão dentro do sistema de amarração. Esta abordagem inovadora não só aumenta a estabilidade da plataforma, mas também contribui para uma estrutura mais leve e potencialmente mais rentável, adequada para diferentes profundidades de água e condições ambientais.

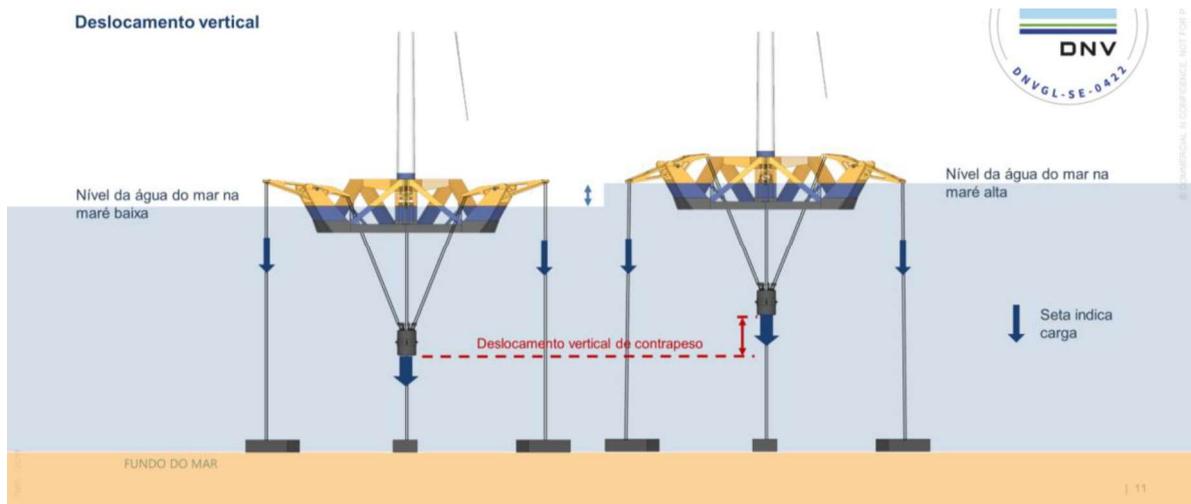


Figura 2-2. Deslocamento vertical.

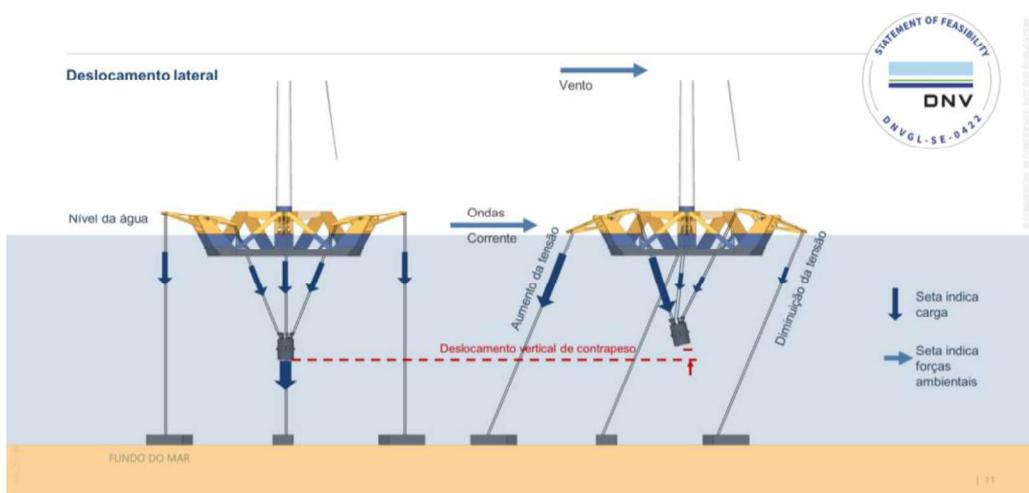


Figura 2-3. Deslocamento lateral.

2.5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A plataforma inclui 4 principais blocos de construção:

- (2.5.1.) Subestrutura flutuante: alavancas e plataforma.
- (2.5.2.) Sistema de amarração incluindo fundações.
- (2.5.3.) Sistema umbilical.
- (2.5.4.) Turbina eólica (WTG).

2.5.1. Subestrutura flutuante: alavancas e plataforma

A plataforma flutuante combina uma plataforma de aço com fluabilidade integrada e um sistema de amarração de ponta, distinguindo eficazmente os papéis de fluabilidade e estabilidade (movimentos e forças). Esta abordagem de design resulta numa fundação que é mais leve e menor em comparação com os projetos semi-submersíveis tradicionais, e ao mesmo tempo apresenta um sistema de amarração que tem uma pegada menor, requer cargas mais baixas e usa âncoras menores em comparação com os sistemas contemporâneos de amarrações tensionadas (TLP – Tension-Leg Platforms), tudo dentro dos limites de design definidos pelo OEM.

O design estrutural da plataforma inclui:

- **Triângulo de base e triângulos laterais:** Estes elementos fundamentais formam a estrutura primária do flutuador, ao qual a turbina eólica está ligada através de três braços separados que se ligam formando uma base sobre a qual se encontra a torre do aerogerador.
- **Flutuabilidade de baixo calado:** O design do flutuador de aço da GWP introduz uma placa de base triangular com um calado reduzido, permitindo uma rápida instalação em portos com baixa profundidade. Desta forma, esta tecnologia prescinde da necessidade de dragagem extensiva, ao contrário de muitas plataformas flutuantes que exigem calados mais profundos de 10 a 15 metros.
- **Estrutura reforçada e volume oco:** Esta construção não só otimiza a flutuabilidade, mas também permite um fabrico eficiente usando métodos globais de construção naval, como linhas de soldagem robóticas, alavancando assim as capacidades existentes e potencialmente revitalizando a indústria de construção naval na Europa.

De forma a aprimorar o seu design, a plataforma GWP inclui (Figura 2-4):

- **Placas de base e pontas inferiores:** São componentes críticos que formam os elementos mais baixos da estrutura, contribuindo para a estabilidade e flutuabilidade.
- **Três triângulos laterais com transições de ponta inferior:** Estes elementos ligam a base à estrutura superior, garantindo robustez e durabilidade.
- **Suporte de alavanca e três braços:** Estes suportes facilitam a integridade estrutural e a funcionalidade dinâmica da plataforma flutuante.

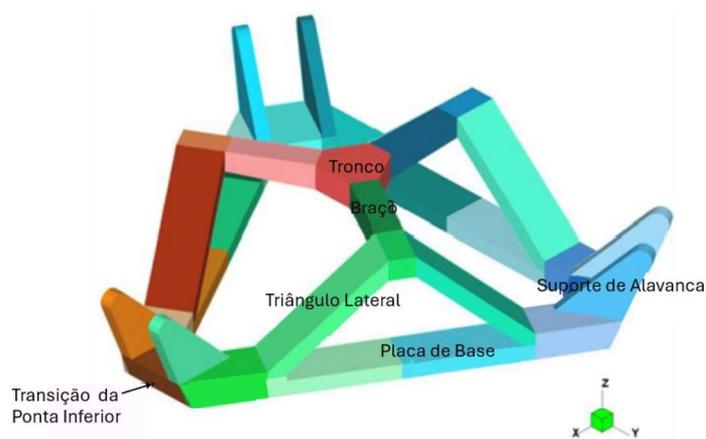


Figura 2-4. Identificação dos componentes dos flutuadores.

A geometria única da flutuabilidade de baixo calado, combinada com o uso estratégico do contrapeso para adicionar peso e baixar o centro de gravidade, melhora significativamente a estabilidade da plataforma durante o reboque, simplificando as operações de instalação e manutenção.

As principais dimensões do flutuador são mostradas na Figura 2-5 e na Tabela 2-1.

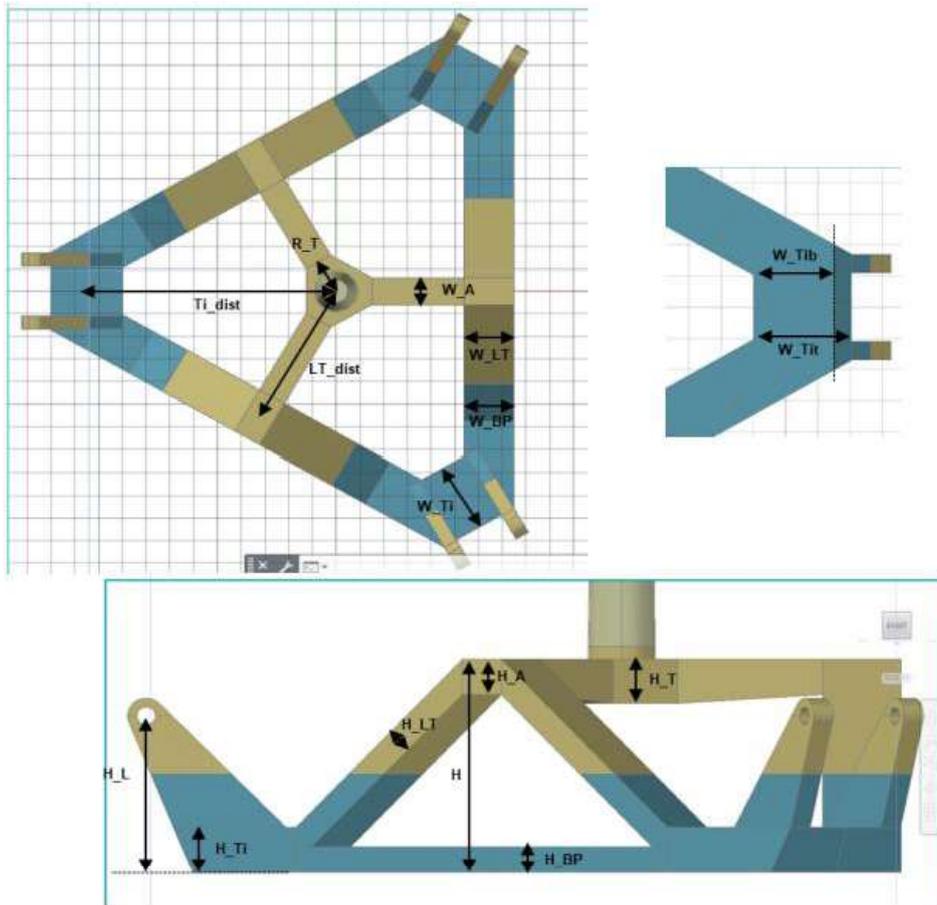


Figura 2-5. Principais Dimensões do flutuador.

Tabela 2-1. Principais Dimensões do flutuador.

Identificação	Descrição	Valor	Unidades

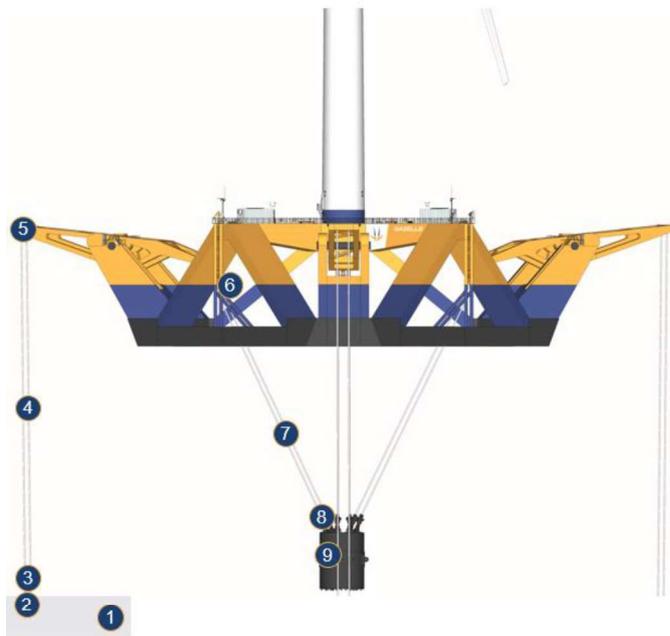
2.5.2. Sistema de amarração incluindo fundações

2.5.2.1. Visão Geral

O sistema de amarração da GWP combina um mecanismo dinâmico de contrapeso suspenso com um design estrutural robusto para garantir estabilidade e sobrevivência em ambientes marinhos desafiantes. O sistema de amarração, disposto num layout triangular com um vértice voltado para ondas predominantes, apresenta três braços de alavanca conectados a um contrapeso central que gere forças verticais e horizontais (Figura 2-6). Esta configuração permite que a plataforma manobre suavemente tanto na horizontal como na vertical, reduzindo significativamente o movimento de inclinação da plataforma e da turbina eólica.

Os principais componentes do sistema incluem (Figura 2-6):

- **Alavancas articuladas:** São conectadas à plataforma e projetadas para acompanhar os movimentos da mesma. As linhas de conexão externas são colocadas estrategicamente para aumentar a estabilidade, aumentando a distância do eixo central da plataforma.
- **Contrapeso central:** Partilhada pelas três linhas de amarração, esta estrutura em aço e betão mantém as linhas de amarração tensas e facilita o livre movimento vertical da plataforma, equilibrando as forças nos cabos.
- **Linhas de amarração:** Compreendem as linhas de amarração internas e as linhas de amarração externas. As linhas de amarração externas conectam as fundações no fundo marinho com às alavancas e são projetadas para serem robustas e duráveis, com fatores de segurança aumentados para garantir longevidade sem redundância. As linhas internas conectam as alavancas ao contrapeso e apresentam redundância completa, permitindo a falha de uma sem comprometer a integridade do sistema. As três amarrações verticais serão distribuídas igualmente a cada 120 graus nos 50 m de profundidade da água. As linhas de amarração internas e externas são feitas de linhas de poliéster (nomeadamente PET).
- **Sistema de fundação:** A natureza do sistema permite o uso de âncoras menores, mais eficientes e ecológicas em comparação com as plataformas TLP tradicionais.



- 1 – Âncora (x3)
- 2 – Ligação da âncora à linha de amarração (x3)
- 3 – Ligação da corrente às linhas de amarração (x3)
- 4 – Linha de amarração exterior (x6)
- 5 – Ligação da linha de amarração exterior à alavanca (x3)
- 6 – Ligação da linha de amarração interior à alavanca (x3)
- 7 – Linha de amarração interior (x6)
- 8 – Ligação da linha de amarração interior ao contrapeso (x6)
- 9 – Contrapeso (x1)

Figura 2-6. Componentes do sistema de amarração.

Este design não só reduz a necessidade de aço excessivo, tornando a plataforma mais leve e económica, como também elimina a necessidade de a plataforma gerir a estabilidade, como tem vindo a ser implementado em projetos de plataformas semi-submersíveis, evitando peso e custo desnecessários. Além disso, serão usadas fundações e conectores convencionais bem conhecidos, garantindo a fiabilidade e facilidade de integração com tecnologias *offshore* existentes.

Durante a última campanha de testes realizados em tanque, em novembro de 2023, o sistema demonstrou que a perda de uma ou duas linhas de amarração externas não compromete a capacidade de sobrevivência da plataforma, destacando a redundância e o design robusto do sistema de amarração. Esta configuração de amarração otimiza a flutuabilidade proporcionada pela totalidade da estrutura flutuante e garante a estabilidade da plataforma através da interação dinâmica dos seus componentes.

2.5.2.2. Informação detalhada

Contrapeso

Nesta fase do projeto o contrapeso será um cilindro localizado no centro do flutuador e está previsto ser em aço para o protótipo de 2 MW e aço e betão para os dispositivos de 15 MW. Para o protótipo, o contrapeso será colocado 14 m abaixo do nível médio do mar. As suas características são mostradas na Tabela 2-2.

Tabela 2-2. Características do contrapeso.

Variável	Valor	Unidade

O contrapeso é uma parte da estrutura utilizada para garantir a estabilidade da plataforma sob cargas horizontais. O seu principal papel é fornecer tensão nos cabos de amarração graças a um movimento vertical permanente para equilibrar as forças nos cabos e, assim, contribuir para a estabilidade da plataforma.

A seleção e design finais do contrapeso devem ser documentados com análise FEM (*Finite Element Method*), a fim de qualificar e certificar o contrapeso para estados de mar limite (ULS – *Ultimate Limit State*) e fadiga seguindo as normas da DNV, o que será feito em fases futuras do projeto.

Alavancas

Existem três alavancas, cada uma colocada na ponta da plataforma triangular para ligar as linhas de amarração internas às linhas de amarração externas. As três alavancas são braços articulados ligados à estrutura primária por intermédio de apoios rotulados integrados nas estruturas existentes nos vértices da plataforma triangular. Estas estruturas de aço giram em torno dos seus pontos de ligação de acordo com as tensões geradas nas linhas internas e externas, fixadas em cada extremidade.

As alavancas têm as dimensões e geometria indicadas na Tabela 2-3. O eixo de rotação atualizado das alavancas é apresentado na Figura 2-7. O eixo de coordenadas das alavancas de rotação é apresentado na Tabela 2-4.

Tabela 2-3. Características das alavancas.

Caraterísticas	Valor	Unidade

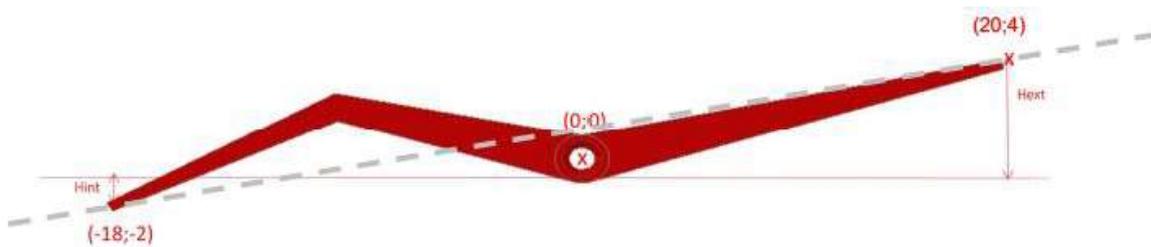


Figura 2-7. Esquema de rotação das alavancas.

Tabela 2-4. Especificações de rotação das alavancas.

Elemento	X [m]	Y [m]	Z (/MSL) [m]

Conexões

Os componentes do sistema de amarração (Figura 2-8) serão constituídos, na sua totalidade, por equipamento comprovado em condições *offshore*. São previstos *Triplates*, manilhas D e manilhas H de acordo com o standard DNV-OS-E301.

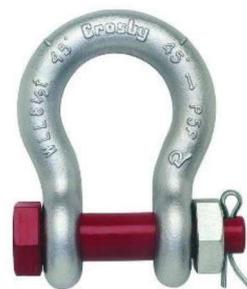


Figura 2-8. Exemplo de componentes do sistema de amarração.

Ligações externas de linhas de amarração

Os pontos de ligação das linhas de amarração externas no quadro geral são apresentados na Tabela 2-5 de acordo com a orientação X, Y e Z indicados na Figura 2-4.

Tabela 2-5. Especificações das linhas de amarração externas.

Ligação	X [m]	Y [m]	Z /MSL [m]

Ligações internas de linhas de amarração

Os pontos de conexão das linhas de amarração internas no quadro geral são apresentados na Tabela 2-6 (com uma configuração com topo de contrapeso a -21 m abaixo do nível médio do mar).

Tabela 2-6. Especificações das linhas de amarração internas.

Ligação	Ponto de ligação da linha de amarração interna		
	X [m]	Y [m]	Z /MSL [m]

Design do sistema de fundação

O sistema de ancoragem da plataforma está em fase de investigação. Atualmente, a solução escolhida é constituída por um compartimento de aço acoplado a uma corrente (Figura 2-9). Este design aproveita a rigidez do compartimento de aço e a flexibilidade da corrente para fornecer uma solução de ancoragem robusta e com baixo impacte ambiental. O compartimento de aço serve como uma estrutura estável, oferecendo rigidez e resistência à fundação da plataforma. A corrente, por outro lado, adiciona flexibilidade e aumenta a capacidade do sistema de ancoragem de absorver e dissipar cargas dinâmicas, proporcionando uma capacidade de retenção superior em diferentes condições de fundo marinho.

Um benefício ambiental significativo desta solução reside na sua sustentabilidade, uma vez que faz uso produtivo de correntes de “sucata”, reaproveitando materiais descartados que, de outra forma, contribuiriam para o desperdício – isto é, promove a circularidade dos materiais. Adicionalmente, o design do compartimento de aço e da corrente pode ser adaptado para minimizar a perturbação do fundo marinho, preservando o ecossistema marinho em redor da plataforma.

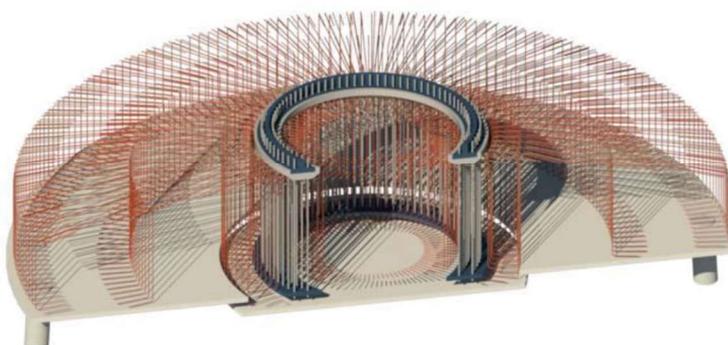


Figura 2-9: Representação do compartimento de aço de um âncora.

No entanto, a GWP irá explorar alternativas no caso da solução apresentada for inviável por fatores adversos. De momento, está a ser avaliada uma âncora gravitacional de betão pela sua simplicidade e confiabilidade, utilizando peso substancial para resistir às forças de deslocamento. Cada uma dessas potenciais soluções de fundação está a ser avaliada para garantir o desempenho ideal e a relação custo-eficiência para os requisitos do projeto.

2.5.3. Sistema umbilical

O conceito da geometria do cabo submarino é que este sairá da estrutura externa de um dos flutuadores, adotando uma forma de *lazy-wave* (Figura 2-10), garantindo que não haja choque com linhas de amarração ou com a estrutura de flutuação. A preferência por esta configuração em relação à catenária, reside no facto de que o *lazy-wave* desacopla o movimento da plataforma e do cabo, reduzindo assim a tensão e mitigando o risco de dobragem excessiva no ponto de suspensão, bem como aumentando a longevidade do cabo.

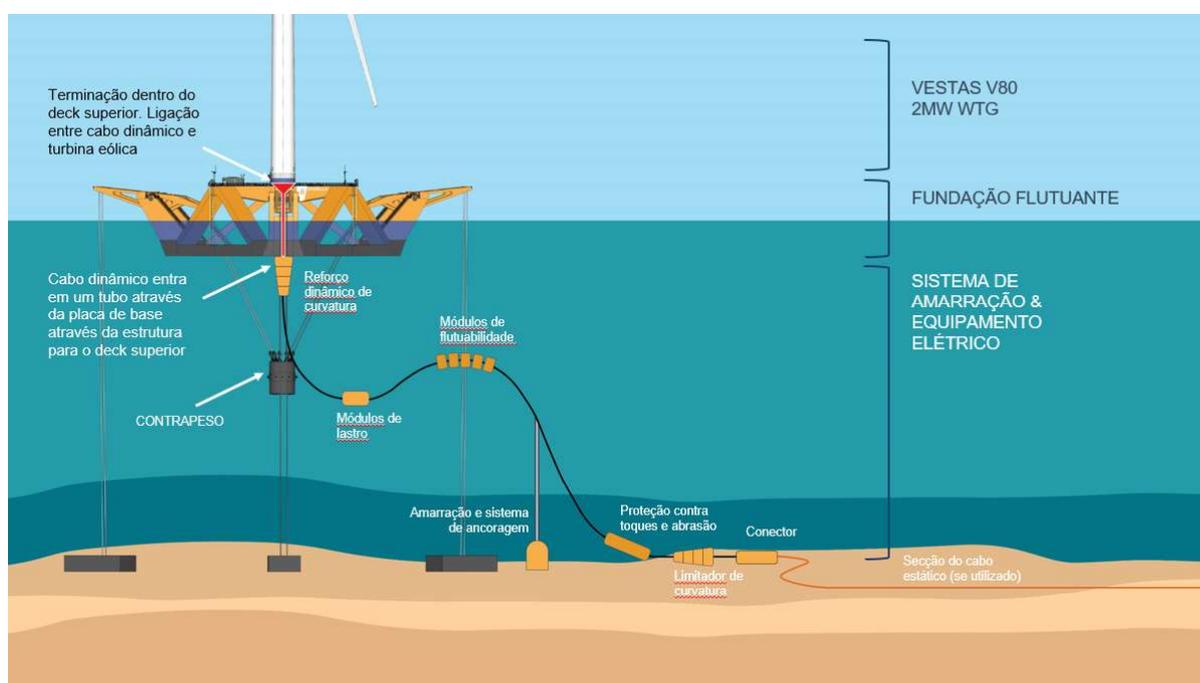


Figura 2-10. Forma de *lazy-wave*.

No que diz respeito à conexão à rede, será utilizada a infraestrutura elétrica existente na Aguçadoura. Atualmente, um cabo de exportação trifásico de 3 MW, operando a 6 kV, está colocado no fundo marinho e conectado à subestação em terra.

Para a conexão do cabo submarino do projeto ao cabo de exportação, são identificadas duas possibilidades dependendo do cronograma dos projetos:

1. Instalação de um conector submarino (passivo ou ativo) com duas entradas e uma saída;
2. Conexão ao *hub* flutuante da CorPower Ocean que está planeado para ser instalado, permitindo que várias fontes de energia convirjam para o cabo de exportação.

A primeira opção só será escolhida no cenário em que o projeto **Caravela Verde** seja instalado antes da instalação do *hub* flutuante da CorPower Ocean. Neste caso, a GWP instalará um conector T submarino com duas entradas e uma saída conectada ao cabo de

exportação. Alternativamente, estando o *hub* flutuante da CorPower Ocean já instalado no local de teste, o cabo umbilical será conectado diretamente ao painel de distribuição do *hub*, permitindo a exportação de energia para a rede.

No caso da impossibilidade de obter as licenças de ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), a energia produzida pela turbina eólica será injetada em *load banks*. Com a utilização das *load banks*, será possível manter a turbina em funcionamento e a produzir eletricidade, permitindo a monitorização da produção de energia. Assim, mesmo sem estar conectada à rede elétrica, a eficiência e a performance da turbina podem ser avaliadas e otimizadas.

2.5.4. Turbina eólica (WTG)

A WTG (Tabela 2-7) selecionado para o projeto **Caravela Verde** da GWP na Aguçadoura é composto pelo *Rotor Nacelle Assembly* (RNA) e pela torre, tendo sido selecionado o modelo Vestas V80-2.0 MW pelo seu desempenho e fiabilidade comprovados. Este modelo será fornecido e gerido como uma solução chave-na-mão pela *Delta Wind Partners*, e inclui o fornecimento, instalação, comissionamento e manutenção. A escolha da Vestas V80, um modelo que foi anteriormente instalado com sucesso no local de destino, minimiza os riscos associados à conexão à rede devido às suas especificações familiares e histórico operacional estabelecido em terra.

A Vestas V80 é uma turbina *upwind* regulada por passo com controlo ativo de *pitch*, *roll* and *yaw* e um rotor de três pás. Este opera sob o conceito OptiSpeed™, permitindo que o rotor varie a sua velocidade (RPM) para otimizar a produção de energia sob diferentes condições de vento. Equipadas com o sistema OptiTip® da Vestas, as pás da turbina ajustam o passo mantendo o ângulo ideal e garantindo a eficiência e a redução de ruído. As pás, feitas de epóxi reforçado com fibra de vidro, são estruturas robustas com duas armações suportadas por uma viga e conectadas aos rolamentos da pá através de inserções de aço.

A transmissão de energia da turbina envolve um eixo principal conectado a um gerador assíncrono de 4 polos através de uma caixa de engrenagens epicíclica e helicoidal combinada. A gestão de energia é adicionalmente refinada através de uma conexão entre a caixa de velocidades e o gerador, isenta de manutenção. A segurança e o controlo são priorizados com um sistema de controlo abrangente baseado num microprocessador localizado na nacelle, que gere todas as operações incluindo o sistema de ajuste de passo hidráulico que permite a rotação da pá até 95°.

A nacelle abriga um guindaste de serviço de 800 Kg, expansível para a elevação dos componentes principais, aumentando a capacidade de manutenção. Melhorias opcionais, tais como um elevador de serviço dentro da torre, ressaltam ainda mais a adaptabilidade e a prontidão da turbina para ambientes *offshore* desafiantes.

Tabela 2-7. Dimensões da WTG.

Variável	Valor	Unidade
[Redacted]		

Tabela 2-8. Características de referência do RNA.

Variável	Valor	Unidade
[Redacted]		

3. OPERAÇÕES A REALIZAR DURANTE O PROJETO

3.1. FABRICO, MONTAGEM, TRANSPORTE E INSTALAÇÃO

O Princípio da GWP permite o transporte de toda a plataforma, incluindo a turbina eólica, a partir do porto e instalação sem assistência de embarcações com elevada capacidade de reboque e de elevação.

3.1.1. Fabrico

A plataforma será construída em 7 módulos (Figura 3-1) que serão depois montados no Porto de Viana do Castelo. Esta etapa consistirá no fabrico de cada módulo, pintura e pré-instalação de elementos auxiliares, como passadeiras, escadas, protetores de acesso e cabos elétricos.

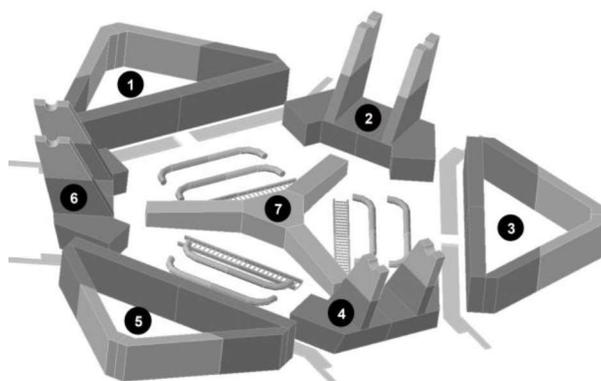


Figura 3-1. Módulos principais da plataforma.

Existem 3 tipos de módulos principais:

- Três triângulos laterais formados por quatro sub-blocos (Figura 3-1 – ref. 1, 3 e 5);
- Uma estrela de telhado formada por quatro sub-blocos (Figura 3-1 - ref. 7);
- Três braços suportam as alavancas formados por três sub-blocos (Figura 3-1 - ref. 2, 4 e 6).

3.1.2. Montagem

A montagem depende das instalações disponíveis no porto, tais como doca seca, rampa e guindaste. Está em estudo a possibilidade de haver um rebocador dedicado para proceder à montagem da plataforma em águas perto da costa. O cenário base pressupõe que o triângulo é flutuado para fora do porto a partir da doca seca, sendo lançado através de uma rampa ou carregado no rebocador. O processo de montagem será realizado no Porto de Viana do Castelo (Figura 3-2).



Figura 3-2. Local de montagem no Porto de Viana do Castelo.

A montagem dos blocos principais será efetuada de acordo com os passos descritos abaixo (Figura 3-3):

- Colocação das três secções triangulares.
- Conexão de duas secções de canto.
- Posicionamento do contrapeso.
- Posicionamento da secção de suporte da torre em cilindros hidráulicos ou suspensa por guindaste.
- Conexão da secção de canto final.
- Ajuste do primeiro conjunto de alavanca com rolamentos montados, 2ª alavanca, 3ª alavanca.
- Conexão das linhas de amarração internas do contrapeso à alavanca e proteção das alavancas para transporte.
- Conexão do contrapeso à base da torre para transporte.

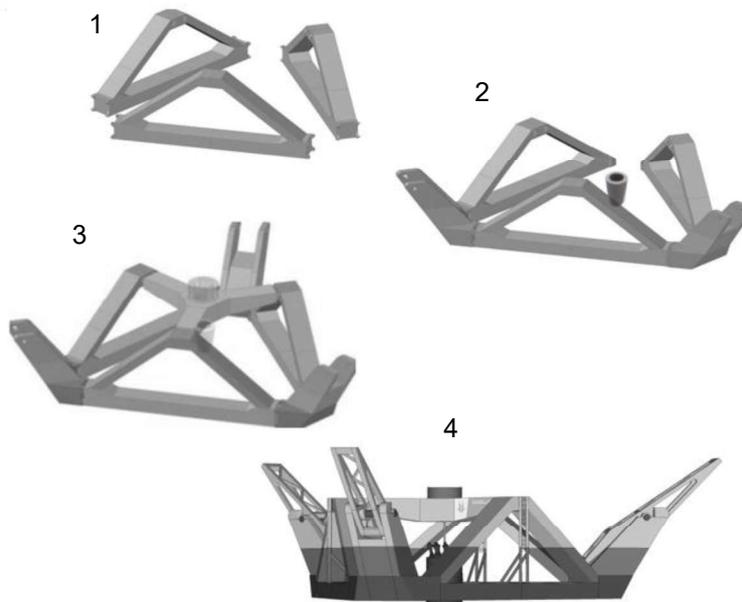


Figura 3-3. Sequência de montagem.

3.1.3. Integração da turbina e montagem da nacelle e pás

Após o lançamento, a etapa de montagem do aerogerador garante a integração perfeita da torre da turbina eólica com a plataforma. Esta etapa envolve o alinhamento cuidadoso e a fixação da torre da turbina eólica no sistema de fundação da plataforma. A precisão é fundamental, pois o acoplamento da torre deve suportar forças dinâmicas significativas causadas por cargas de vento e ondas. Para conseguir isso, são utilizados sistemas avançados de fixação para conectar firmemente a torre à fundação, garantindo estabilidade e integridade estrutural.

O processo de montagem é planeado e executado para minimizar o tempo de instalação, mantendo os padrões de segurança. Serão usados equipamentos especializados para alinhar as seções da torre, aplicando um binário controlado para proteger os parafusos e garantir uma conexão confiável. Além disso, serão realizados rigorosos controlos de qualidade para verificar se o acoplamento cumpre os critérios de design do projeto.

Uma vez concluída, a nacelle, que abriga os principais componentes elétricos e mecânicos da turbina eólica, é cuidadosamente montada no topo da torre previamente acoplada. O alinhamento preciso é crucial novamente, pelo que serão utilizados guindastes de elevação especializados para içar e posicionar a nacelle com segurança na flange da torre.

Após a instalação da nacelle, iniciar-se-á a montagem das pás do rotor. As pás serão levantadas individualmente e presas ao cubo, que já estará conectado à nacelle. Este processo requer atenção meticulosa aos detalhes e sincronização entre a equipe de elevação e os engenheiros para garantir que cada pá esteja alinhada corretamente. Uma vez que as três pás estejam no lugar, o conjunto do rotor é fixado e os ajustes finais de binário são feitos nos parafusos das pás.

Ao longo desta fase, as conexões elétricas e mecânicas entre a nacelle e a torre são testadas para garantir uma comunicação perfeita entre os sistemas de controle da turbina eólica. Após

a montagem bem-sucedida da nacelle e das pás, a turbina eólica está pronta para ser comissionada.

3.1.4. Transporte Marítimo

O transporte será realizado através de reboque a partir do Porto de Viana do Castelo. Em fases futuras do projeto, serão considerados rebocadores simples para realizar a operação. O número necessário de rebocadores será avaliado, considerando o peso definitivo da plataforma, a velocidade razoável de carregamento dos rebocadores e os requisitos das autoridades portuárias.

As alavancas serão bloqueadas durante o transporte por um guincho ou um método mecânico semelhante para evitar movimentos indesejáveis durante esta operação.

3.1.5. Instalação

Abaixo é apresentada uma lista geral das operações a levar a cabo:

- Pré-instalação de fundações e linhas de amarração no local.
- Posicionamento de rebocadores e da plataforma: Ponta alinhada com linhas de amarração exteriores pré-instaladas no local.
- Libertação das linhas de amarração externas e internas. Note-se que a ligação das linhas de amarração será realizada antes de posicionar o contrapeso no lugar: o contrapeso ainda estará conectado à plataforma na sua posição de transporte, e as linhas de amarração não estarão em tensão.
- Libertação do contrapeso na sua totalidade até ao calado pretendido.
- O umbilical deverá ser instalado no local. Quando a plataforma chega ao local, o umbilical deverá ser recuperado do seu local de pré-instalação e elevado através de uma linha de polia externa até o ponto de conexão do andar superior, e depois conectado eletricamente a um cabo pré-colocado dentro da torre, que completará a conexão à rede/subestação. O método de conexão entre ambos os cabos será desenvolvido em futuras fases do projeto.

Na Figura 3-4 apresenta-se a sequência completa de montagem, transporte e instalação.



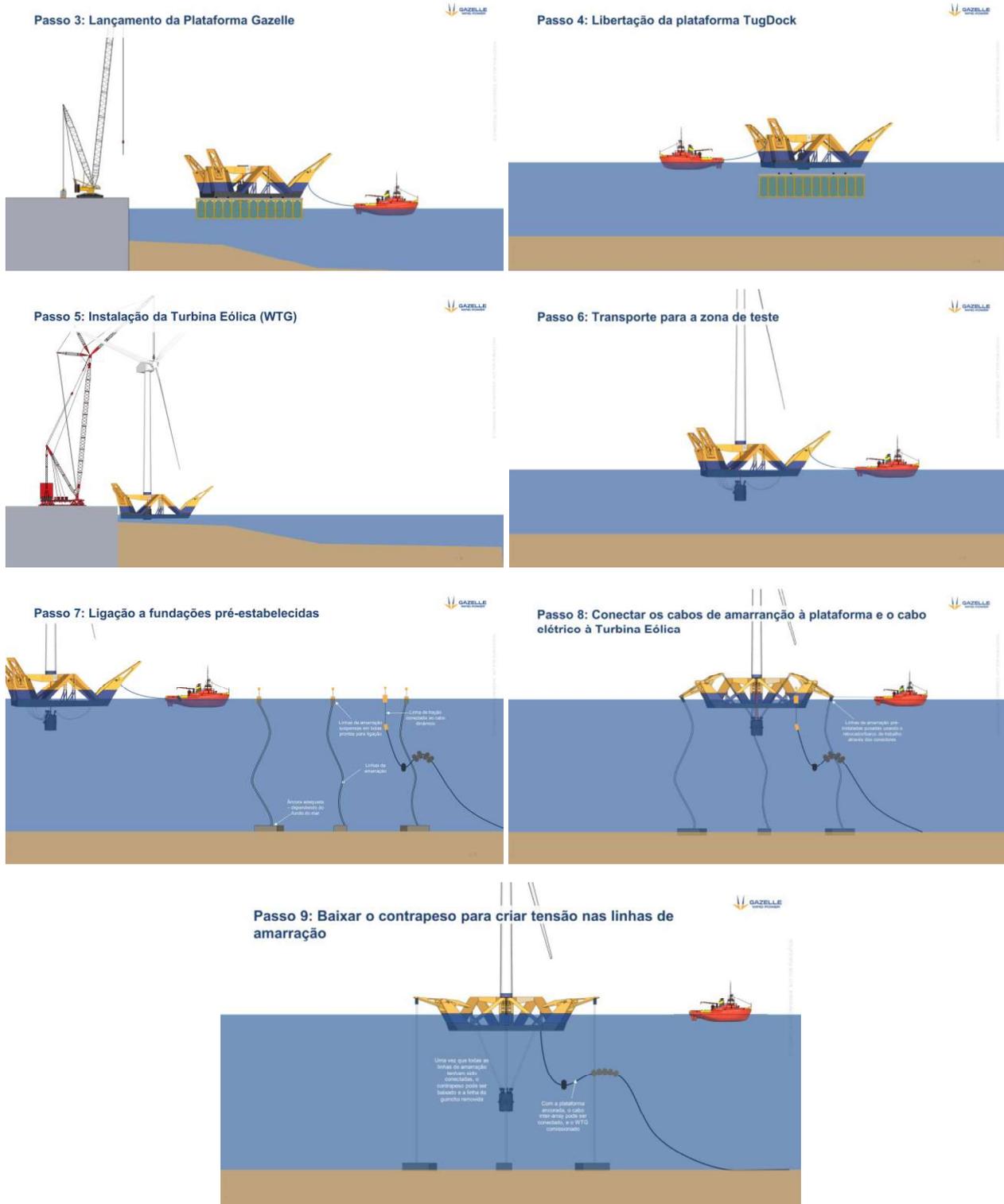


Figura 3-4. Montagem, transporte e instalação da plataforma.

3.2. OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO

O design da plataforma GWP incorpora tecnologias de amarração e cabos de desconexão rápida, permitindo um reboque eficiente para grandes campanhas de manutenção. Devido a estas características, a plataforma pode ser facilmente rebocada de volta ao Porto de Viana do Castelo se necessário, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de manutenção

offshore. Adicionalmente, a plataforma foi concebida para manutenções mínimas, que podem ser realizadas a partir da marina da Póvoa do Varzim ao longo da sua vida útil, aumentando ainda mais a relação custo-eficácia e fiabilidade.

A escolha da marina da Póvoa do Varzim, localizada perto da área do projeto, como centro para pequenas operação e manutenção à plataforma eólica *offshore* flutuante da GWP, reflete uma decisão estratégica para maximizar a eficiência e alavancar os recursos locais. Com esta estratégia e localização, a GWP não só garante tempos de resposta rápidos, como também promove a colaboração com fornecedores e prestadores de serviços locais. Esta decisão sublinha o compromisso com práticas sustentáveis e o envolvimento da comunidade, posicionando a marina da Póvoa do Varzim como um ator chave na expansão da indústria eólica *offshore* da região.

A Tabela 3-1 resume os principais componentes sujeitos a inspeções periódicas planeadas e os intervalos previstos (excluindo a WTG). Adicionalmente, se necessário, devem ser organizadas inspeções não programadas a pedido, em função da criticidade dos componentes em causa.

Tabela 3-1. Manutenção de componentes críticos.

Componente	Sub-componente	Inspeção	Intervalo	Referência
Plataforma	Compartimentos (coluna, flutuador, braços)	Integridade estrutural	5-anos (inspeção visual e verificação magnética)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Plataforma	Casco exterior	Colonização marinha (<i>biofouling</i>) Corrosão	5-anos (inspeção visual)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Estrutura secundária da plataforma	-	Integridade estrutural	5-anos (inspeção visual)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Fundações	-	Desgaste (se aplicável)	5-anos (inspeção visual com ROV)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Contrapeso	-	Integridade estrutural	5-anos (inspeção visual com ROV)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Linhas de amarração externas	Linhas PET, terminação da linha PET, corrente, conectores	Integridade estrutural	1-ano (inspeção visual e verificação magnética)	DNV-RU-OU-0300
Linhas de amarração internas	Linhas PET, terminação da linha PET, corrente, conectores	Integridade estrutural	1-ano (inspeção visual com ROV)	DNV-RU-OU-0300
Alavancas	Alavancas, conectores	Integridade estrutural	5-anos (inspeção visual)	DNV-ST-0119 (ref. DNV-ST-0126)
Umbilical	-	Integridade estrutural	1-ano	DNV-RP-0360

A monitorização contínua sem a necessidade de operação humana *offshore* está também planeada para a plataforma. O objetivo nesta fase do projeto é recolher os seguintes dados para armazenamento e/ou utilização posterior:

- Estado do PET (interior e exterior).
- Número de ciclos das alavancas.
- Danos por fadiga do sistema de amarração.
- Cargas extremas no sistema de amarração.
- Monitorização do umbilical.
- Medição do movimento do casco.
- Desalinhamento de alavancas.
- Verificação da soldadura.
- Verificação da conexão estrutural.
- Verificação estrutural.
- Detecção de corrosão.
- Detecção de incêndio.

Acesso à plataforma

O design da plataforma considera os requisitos funcionais para a operação e acesso ao WTG.

O local de desembarque estará no lado mais abrigado dos três triângulos (oposto à direção combinação de vento e onda predominante) e em pelo menos duas das três alavancas, de preferência no lado onde nenhum umbilical está ligado (Figura 3-5). O acesso à plataforma será equipado com uma escada e para-choques projetados de acordo com as normas e recomendações da DNV.

O standard DNV-ST-0119 (incluindo todas as suas referências, como DNV-ST-0126) será seguido para o design do local de desembarque e acesso. Além das normas e recomendações da DNV, as recomendações de projetos *offshore* serão usadas para orientação (por exemplo, *Offshore Wind Accelerator - Design for recommended boat landing geometry*); serão implementados requisitos específicos de desenvolvedores e operadores e serão seguidos padrões específicos de cada país.



Figura 3-5. Local de acesso equipado com carrinho ou guindaste para operações de manutenção.

3.3. FASE DE DESTIVAÇÃO DO PROJETO

A fase de desativação será focada em torno da desmontagem e remoção seguras da plataforma flutuante da turbina eólica, minimizando o impacto ambiental e promovendo a reutilização do material. A natureza modular do projeto facilita a desmontagem e remoção.

O processo iniciará desligando o cabo submarino, desconectando as linhas de amarração, içando e amarrando o contrapeso numa posição de transporte marítimo e rebocando a plataforma de volta ao porto. Esta ação implicará a remoção de todos os componentes da plataforma que poderão perturbar o fundo marinho. A GWP está comprometida com um plano de desativação que prioriza a remoção de todos os materiais do ambiente marinho, garantindo que os habitats sejam restaurados ao seu estado natural tanto quanto possível.

Além disso, a conexão e desconexão das linhas de amarração é simples e rápida, o que reduz o tempo de desativação e, conseqüentemente, o impacto ambiental, com menos ruído e poluição.

Posteriormente, materiais como aço e poliéster serão reciclados de forma responsável, aderindo às regulamentações ambientais e princípios de sustentabilidade. Tal assegurará a promoção de uma economia circular para a plataforma.

4. LOCALIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURA NO ESPAÇO MARÍTIMO NACIONAL

A localização do projeto **Caravela Verde** da GWP é apresentada na Figura 4-1 e Figura 4-2.

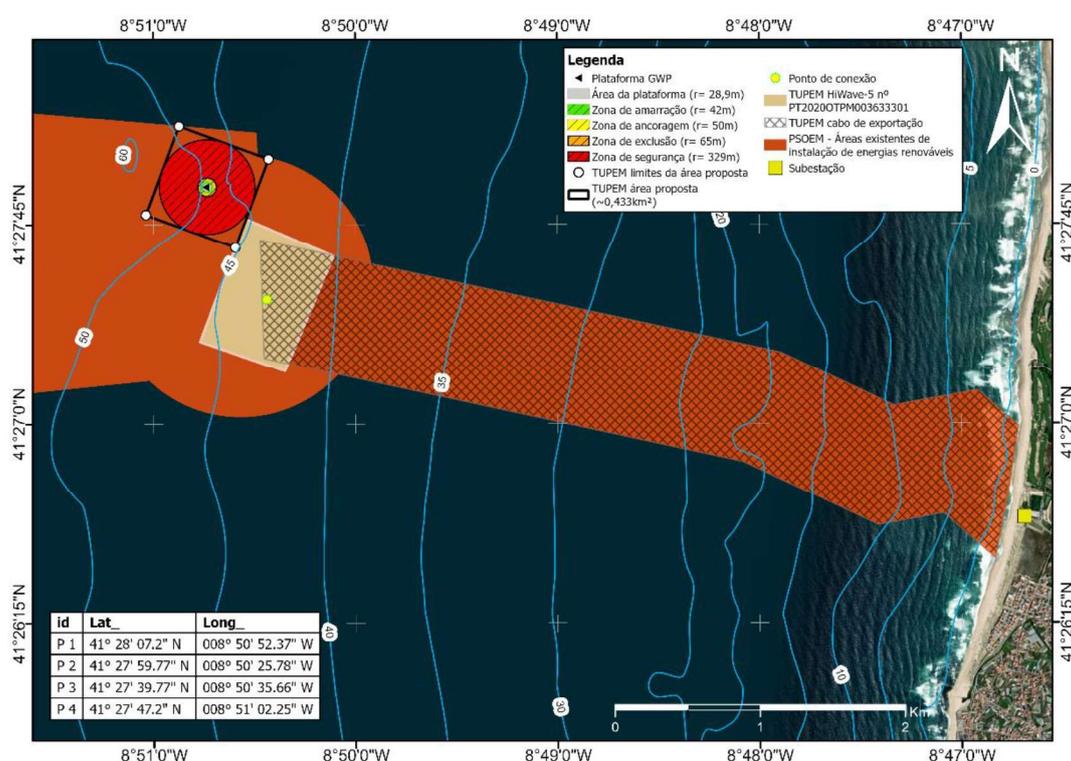


Figura 4-1. Localização do projeto Caravela Verde (zoom out).

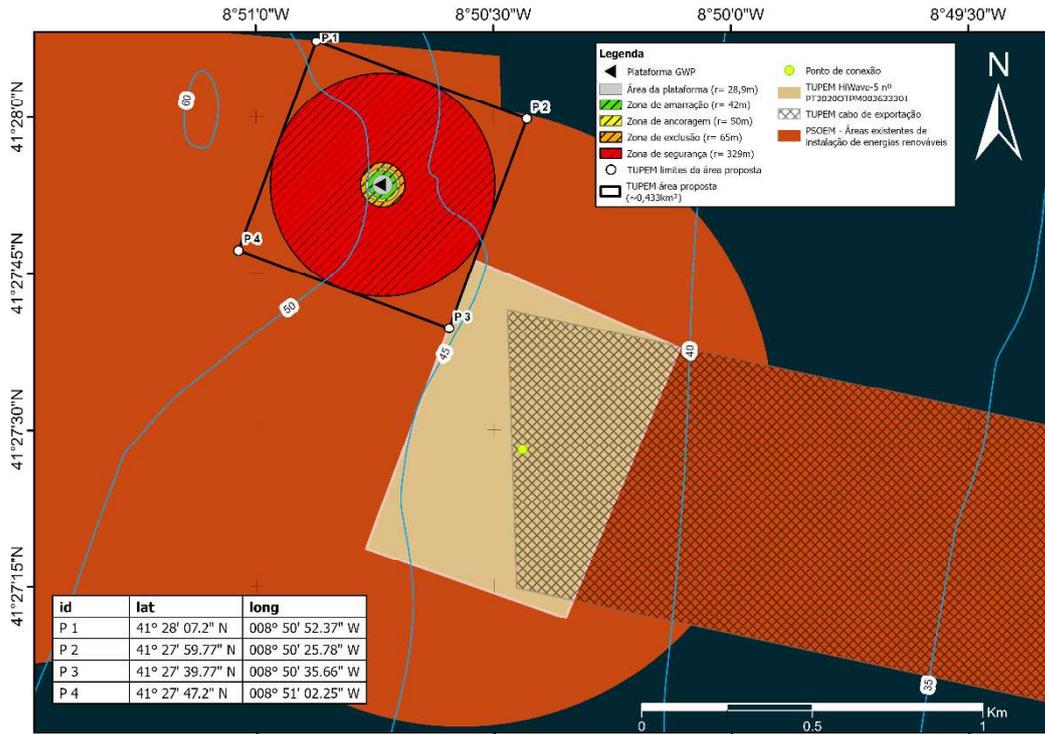


Figura 4-2. Localização do projeto Caravela Verde (zoom in).