

# PREVENÇÃO E CONTROLO DA CORROSÃO NA EXPLORAÇÃO DE ENERGIA *OFFSHORE* ESTUDO EXPERIMENTAL NO PROTÓTIPO WINDFLOAT



LMR - Laboratório de Materiais e Revestimentos

Maria João Marques  
[mjoao.marques@lneg.pt](mailto:mjoao.marques@lneg.pt)

15 Dezembro 2015, auditório Solar XXI, LNEG

# Estrutura da Apresentação

## I - Energias Renováveis *Offshore*

A corrosão de Materiais em Estruturas *Offshore*

## II - Prevenção e Controlo da Corrosão no sector Eólico *Offshore*

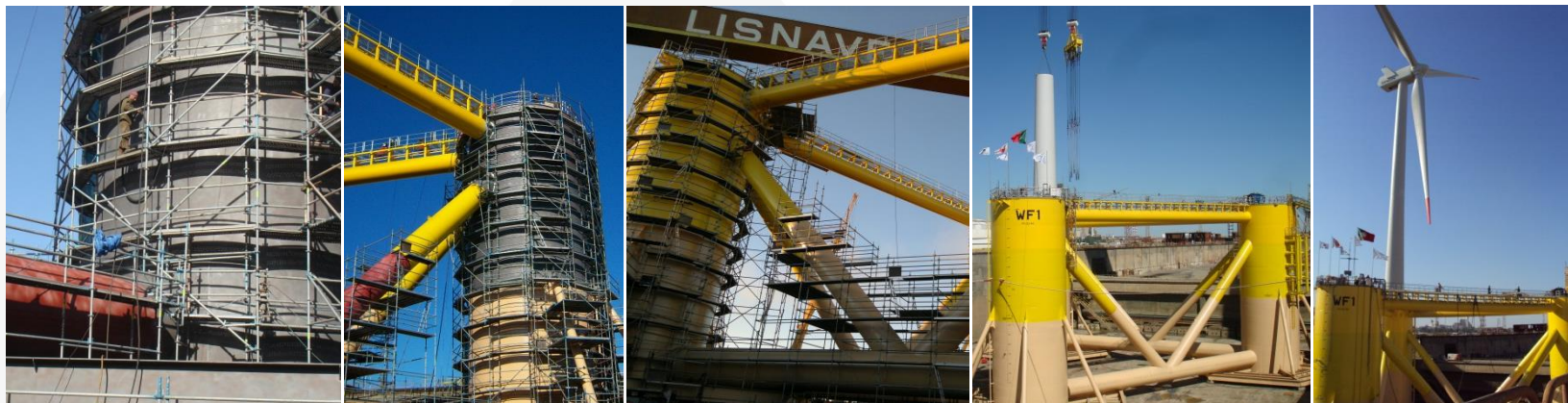
Projeto Wind\_Enermar no Protótipo WindFloat

Porquê e Como

## III - Novos desafios na Durabilidade de Materiais para Exploração de Recursos *Offshore*

Cooperação Multidisciplinar

Mais que necessária, obrigatória.



# ENERGIAS RENOVÁVEIS *OFFSHORE*

O desenvolvimento de projectos associados à exploração de energia marinha tem vindo a ser alvo de crescente interesse por parte de diferentes sectores da indústria, conscientes do potencial económico e das opções de crescimento.

Entre 2000 - 2010 foram financiados com fundos da UE, 44 projectos direccionados especificamente para as energias marinhas, num valor total de 77 milhões de euros.

**Distintas Tecnologias ...**

**Diferentes Níveis de Desenvolvimento Tecnológico ou Industrial...**

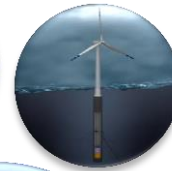
**Um denominador comum**

**A ELEVADA CORROSIVIDADE DO MEIO MARINHO**

mais inóspito e menos acessível do que o meio terrestre



Eólica Flutuante



Ondas



Eólica c/  
Fundações



Marés



Correntes

# CORROSÃO de MATERIAIS em ESTRUTURAS OFFSHORE

Atmosférica  
Salpicos (zona de corrosão severa)  
Tidal (variação da maré)  
Imersão total  
Enterrada

Materiais em distintas  
zonas de exposição

Influência  
significativa de parâmetros  
físico-químicos e ambientais

Elevada humidade relativa  
Salinidade  
Radiação UV  
Actividade microbiológica  
Acção mecânica das ondas e  
correntes...

## Diferentes tipologias de corrosão

Corrosão uniforme    Corrosão por picada  
Corrosão localizada    Corrosão por fadiga, erosão ...  
Corrosão Influenciada Microbiologicamente (MIC)

**Fatores potenciadores de corrosão com diferente impacto nas estruturas de produção de energia *offshore*, por ex.:**

*Presença de biofouling*

Energia das ondas & marés

O crescimento e acumulação de biofouling nas superfícies de aço e compósitos, estáticas e móveis, pode ter um impacto significativo a nível da hidrodinâmica e conseqüentemente na produção de energia.

Energia eólica *offshore*:

Com principal incidência nas zonas tidal e imersas, a presença de biofouling tem, neste caso, um impacto menor a nível da produção de energia.



# PREVENÇÃO e CONTROLO da CORROSÃO no SECTOR EÓLICO OFFSHORE

Baseada no conhecimento e experiência existentes nos sectores :

Exploração Offshore  
Petróleo & Gás



Indústria Construção e Reparação Naval



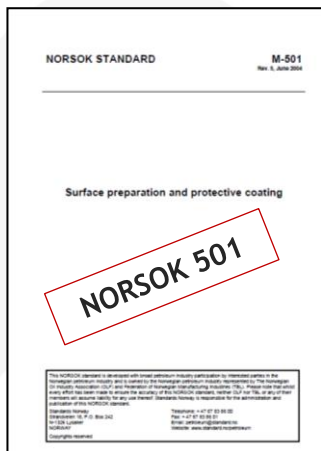
Fabricantes de Tintas e Aplicadores



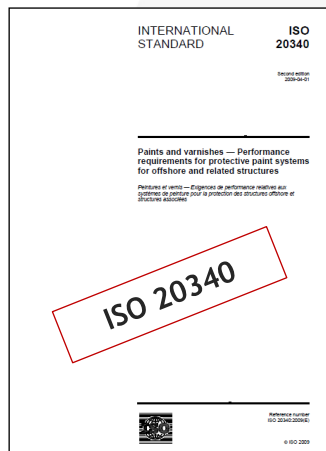
Eólico Onshore



E respectiva normalização:



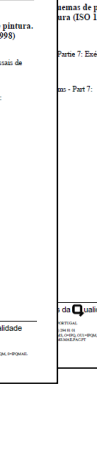
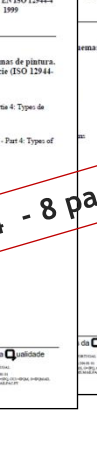
**NORSOK 501**



**ISO 20340**



**NP EN ISO 12944 - 8 partes**



# PREVENÇÃO e CONTROLO da CORROSÃO no SECTOR EÓLICO OFFSHORE

O sector da Energia Eólica *Offshore* tem incidido na importância da **redução dos custos** associados aos processos de **instalação, manutenção e reparação**, os quais são significativamente **superiores no meio marinho** comparativamente ao meio terrestre, constituindo um sério desafio à iniciativa Industrial.

Devido à limitada acessibilidade, os custos associados às operações de manutenção e reparação em eólicas *offshore* são, comparativamente ao custo para as eólicas *onshore*, até pelo menos **10x superiores**. (ref. Ole Ø. Knudsen et al, Copenhagen Offshore Wind Conf. 2005)



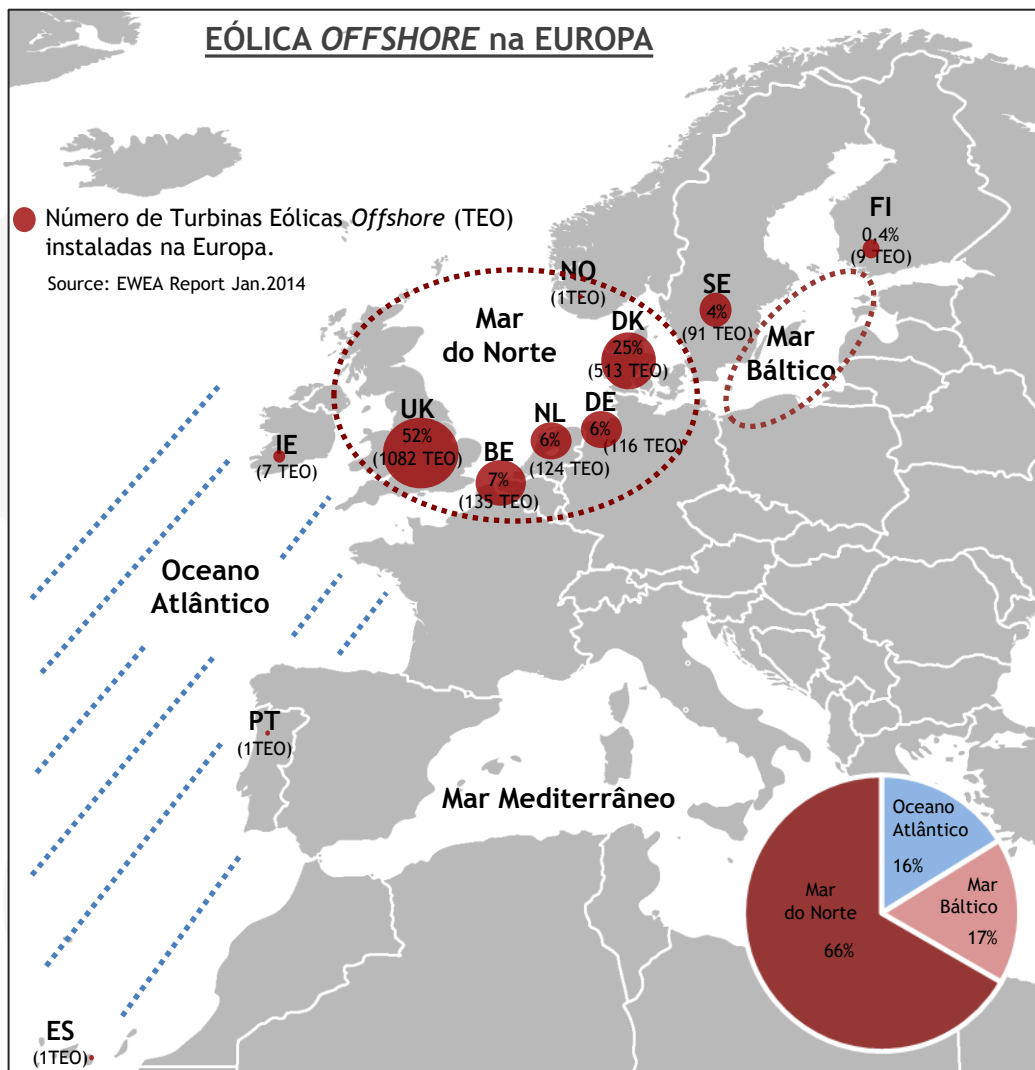
Ciclo de vida expectável de uma estrutura eólica offshore: 20 - 30 anos (ref. *Marine Pollution Bulletin* 90, 247-258, 2015)

A **Prevenção e Controlo da Corrosão** assumem um papel preponderante no ciclo de vida de uma estrutura eólica *Offshore*.



# PREVENÇÃO e CONTROLO da CORROSÃO no SECTOR EÓLICO *OFFSHORE*

Os países do Mar do Norte continuam a ser líderes no sector da Energia Eólica *Offshore*



A região Atlântica tem igualmente potencial para contribuir significativamente para o “crescimento azul”, nomeadamente na exploração sustentável de energias renováveis marinhas.

Plano de Acção para uma Estratégia Marítima na Região Atlântica (PT, ES, FR, IE e UK), de acordo com a Estratégia para o Atlântico da Comissão Europeia.

As actividades no Mar implicam um elevado custo, condicionando a realização de projectos de I&D no domínio da corrosão e protecção de materiais *in situ*.

Neste contexto, a rentabilização de infra-estruturas de teste e de protótipos de demonstração para actividades de I&D, são uma oportunidade única para a aquisição de conhecimento multidisciplinar.

A degradação das estruturas *Offshore* é influenciada pela localização geográfica e respectivos parâmetros ambientais.

## PROJETO WIND\_ENERMAR no PROTÓTIPO WINDFLOAT

Portugal tem a maior zona económica exclusiva (ZEE) no Atlântico Norte entre os Estados-Membros da União Europeia.

Valorização da procura de novas possibilidades e novos caminhos de desenvolvimento do país a partir de indústrias e sectores baseados na exploração sustentável do mar.

A concretização do primeiro protótipo de demonstração de energia eólica *offshore* flutuante em águas Nacionais - **Projeto WINDFLOAT**

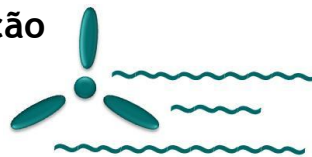


Oportunidade única de concretizar avaliação da corrosividade marinha e eficiência de sistemas de proteção anticorrosiva em meio *offshore*

Neste contexto o LMR, estruturou o projeto **WIND\_ENERMAR**

“Prevenção e Controlo da Corrosão na Exploração de Energia Eólica *Offshore*.

Estudo experimental no protótipo WindFloat.”



A parceria entre LMR e a empresa Principle Power (PPI), possibilitou a utilização do protótipo WindFloat como plataforma de ensaio *offshore In-situ* para a avaliação da corrosividade marinha e comportamento anticorrosivo de amostras de aço estrutural sem e com aplicação de esquemas de pintura.

Este tipo de avaliação nunca tinha sido, até à presente data, realizado em águas Nacionais.

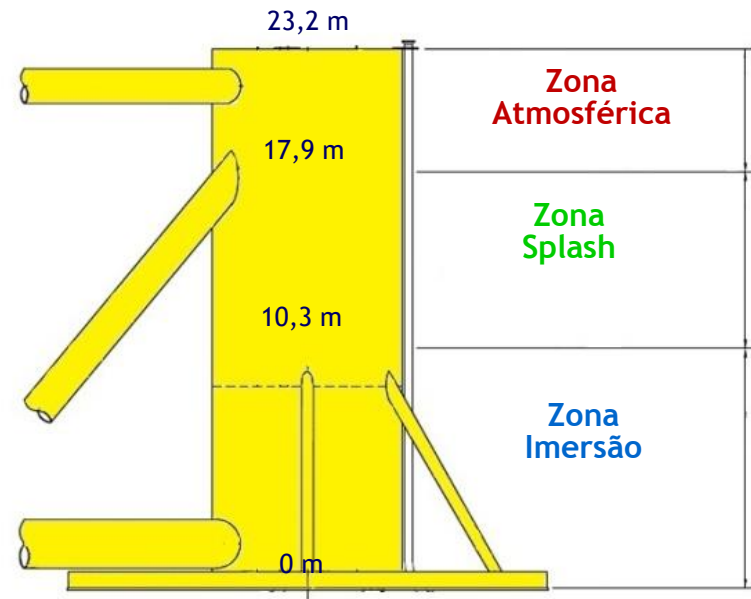
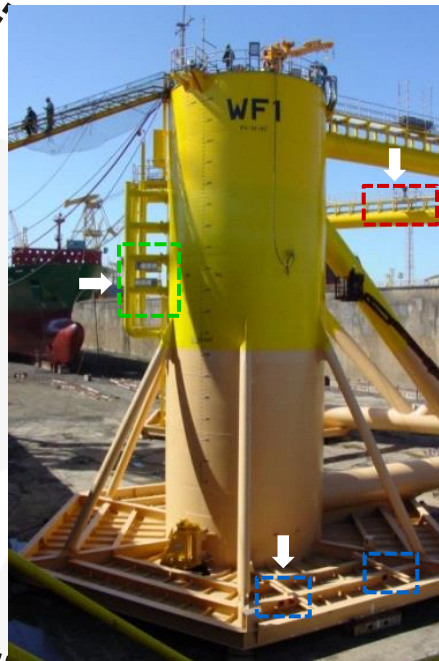
PORQUÊ ?



# PROJETO WIND\_ENERMAR no PROTÓTIPO WINDFLOAT

COMO?

O Projecto Wind\_Enermar envolveu a exposição de amostras de aço sem e com aplicação de distintos esquemas de pintura, seleccionados de acordo com as diferentes zonas de exposição e solicitação mecânica a que se encontra submetido o protótipo WINDFLOAT - zona atmosférica, splash e imersão.



**Fase 0:** Planeamento e *design* experimental das estruturas para exposição das amostras no protótipo WindFloat

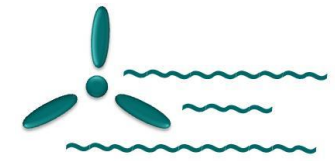
**Fase 1:** Preparação e montagem das amostras em distintas zonas da plataforma flutuante.

**Fase 2:** Estudo laboratorial das amostras recorrendo a metodologias de ensaio de acordo com a especificação e normalização existente para o sector e a técnicas específicas de caracterização de materiais.

**Fase 3:** Aquisição/consolidação de conhecimentos vs Disseminação dos resultados.

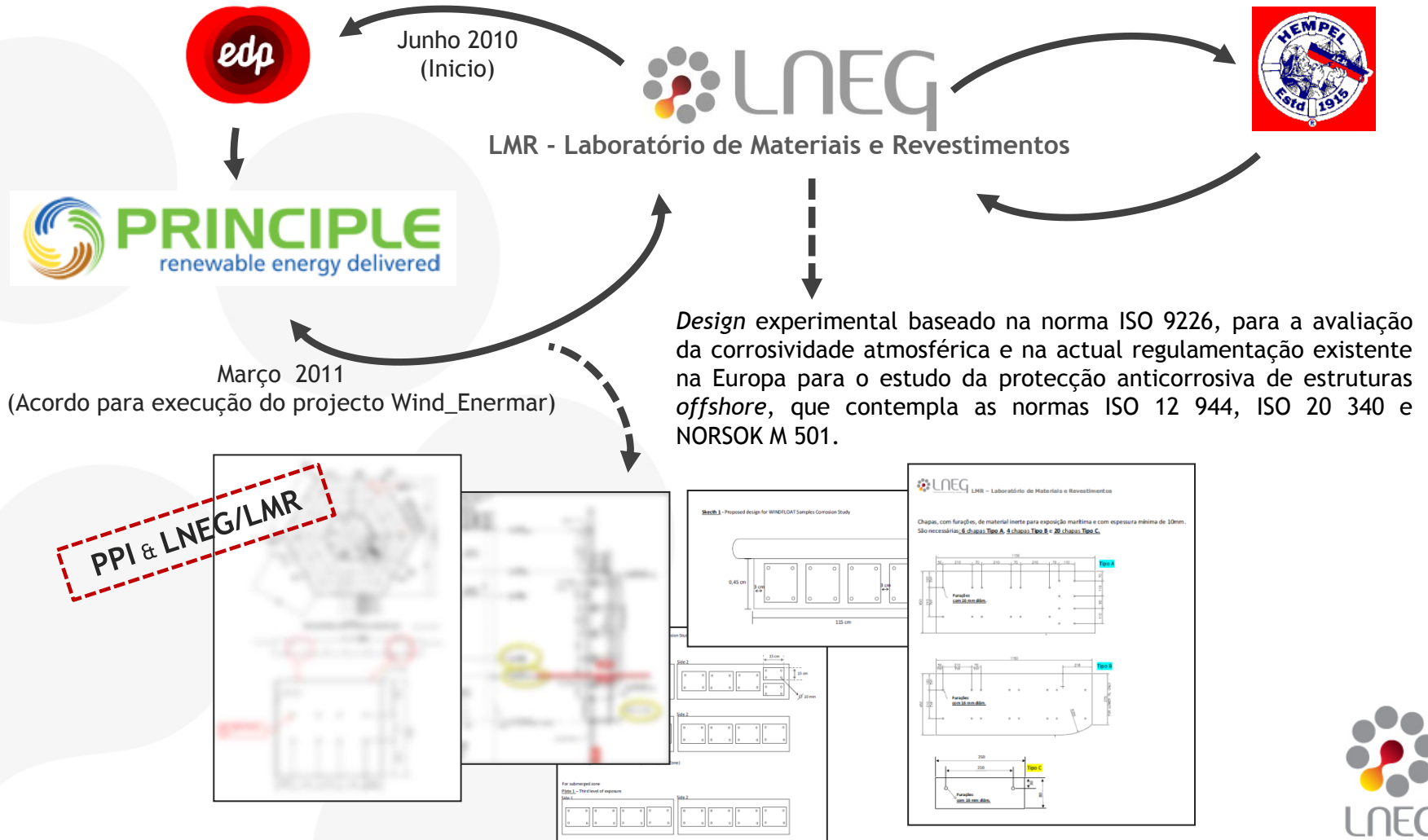
O protótipo WindFloat está ancorado a 5 km da costa, na Praia da Aguçadora, Póvoa do Varzim, desde Outubro de 2011

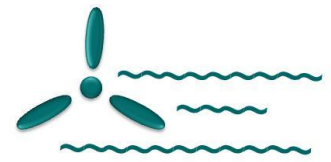
# PROJETO WIND\_ENERMAR



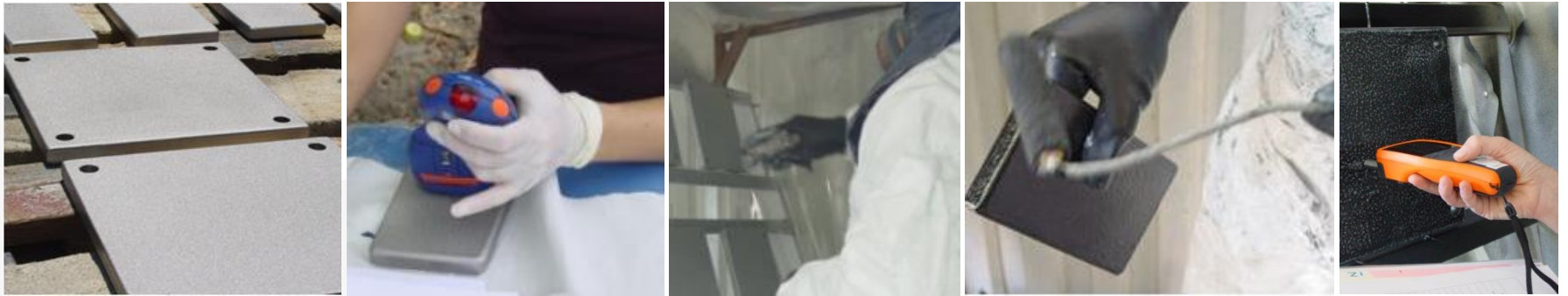
## FASE 0

Planeamento e *design* experimental das estruturas para exposição das amostras no protótipo WindFloat





**FASE1** - Preparação e montagem das amostras em distintas zonas da plataforma flutuante.



**Material base :** Aço estrutural AH36

**Preparação de Superfície :**

Lixagem com disco abrasivo - Aço sem esquema de pintura  
(granulometria 120)

Decapagem com jacto abrasivo Sa 3 - Aço metalizado com zinco + Esq. Pintura  
(granalha de aço GL 18)

Decapagem com jacto abrasivo Sa 2½ - Aço sem metalização + Esq. Pintura  
(granalha de aço GL 18)

**Esquemas de Pintura :**

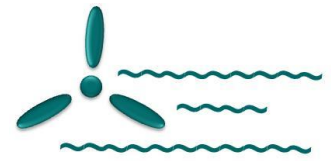
Seleccionados 3 esquemas de pintura para cada zona de exposição: Atmosférica, Salpicos/Tidal e Imersão.

A aplicação das tintas foi realizada de acordo com as especificações técnicas dos produtos.

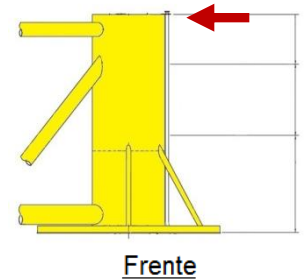
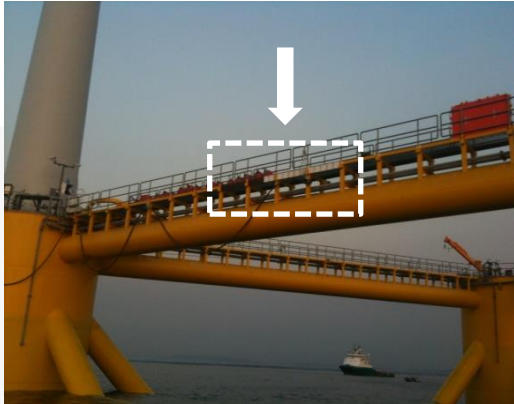
Todas as amostras foram submetidas a um reforço de isolamento das arestas com a tinta das respetivas camadas.

**Parâmetros controlados**

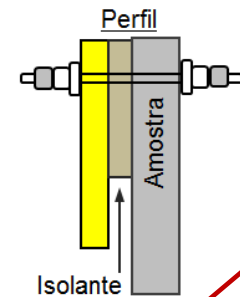
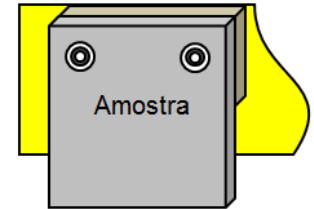
- Humidade relativa e temperatura atmosférica
- Temperatura de superfície
- Espessura de película húmida e seca dos revestimentos
- Ponto de orvalho



**FASE1** - Preparação e montagem das amostras em distintas zonas da plataforma flutuante.



Frente



Constituição dos Esquemas de Pintura e respectivas espessuras

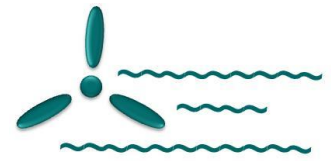
320 µm	Acabamento	60 µm	260 µm	Acabamento	100 µm	310 µm	Acabamento	60 µm
	Subcapa	100 µm		Subcapa	100 µm		Primário	2ª demão 150 µm 1ª demão 100 µm
	Primário	60 µm		Primário	60 µm		Metalização	80 -100 µm
Aço			Aço			Aço		
Esq. de Pintura AZ1			Esq. de Pintura AZ2			Esq. de Pintura AZ3		

Natureza química dos Esquemas de Pintura

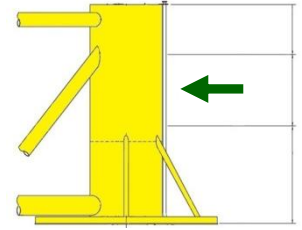
	Primário	Subcapa	Acabamento
Esq. de Pintura 1	Epoxídico rico em Zn	Epoxipoliamida	Poliuretano com isocianatos alifáticos
Esq. de Pintura 2	Epoxídico rico em Zn	Epoxídico com pigmentos de Al e fibras minerais e sintéticas	Polisiloxano com elevado teor em sólidos
Esq. de Pintura 3	Epoxídico	-----	Poliuretano acrílico alifático

**TOTAL: 20 Provetes**  
(12 com esquema de pintura)

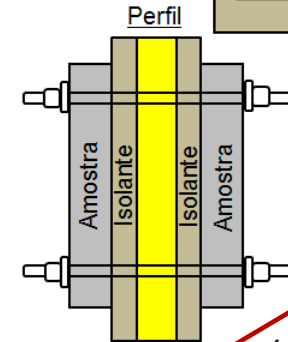
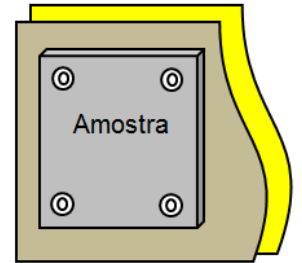




**FASE1** - Preparação e montagem das amostras em distintas zonas da plataforma flutuante.



Frente



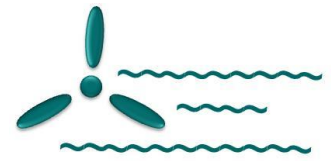
Constituição dos Esquemas de Pintura e respectivas espessuras

Esq. de Pintura	Acabamento	Subcapa	Subcapa	Primário	Aço
<b>SZ1</b>	75 µm	200 µm	200 µm	200 µm	Aço
<b>SZ2</b>	60 µm	200 µm	200 µm	200 µm	Aço
<b>SZ3</b>	60 µm	2ª demão 100 µm 1ª demão 300 µm	100 µm	80 -100 µm	Aço

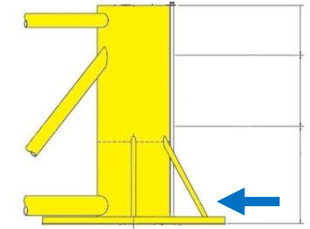
Natureza química dos Esquemas de Pintura

	Primário	Subcapa	Acabamento
Esq. de Pintura 1	Epoxipoliamida/amina	Epoxipoliamida/amina	Poliuretano com isocianatos alifáticos
Esq. de Pintura 2	Epoxídico com pigmentos de Al e fibras minerais e sintéticas	Epoxídico com pigmentos de Al e fibras minerais e sintéticas	Polisiloxano com elevado teor em sólidos
Esq. de Pintura 3	Epoxipoliamida	Epoxipoliamida reforçado com fibras de vidro	Poliuretano acrílico alifático

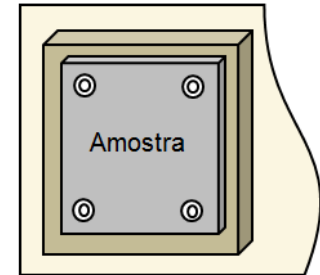
**TOTAL: 36 Provetes**  
(24 com esquema de pintura)



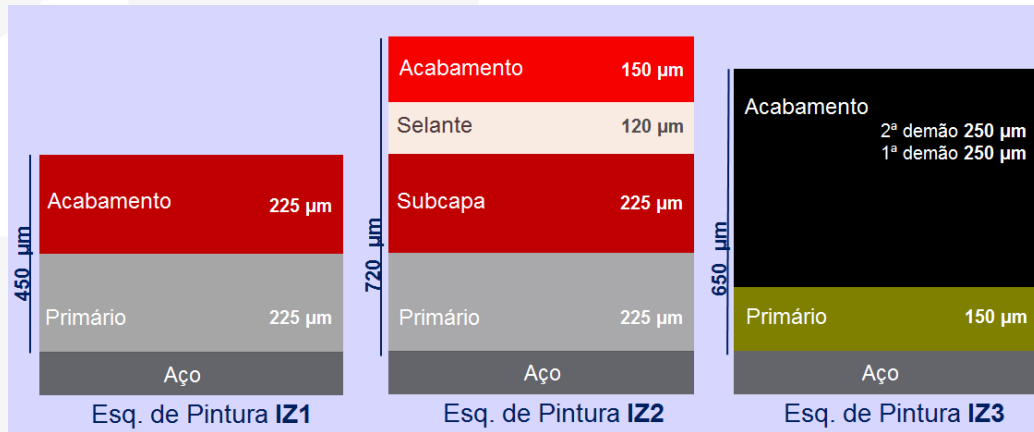
**FASE1** - Preparação e montagem das amostras em distintas zonas da plataforma flutuante.



Frente

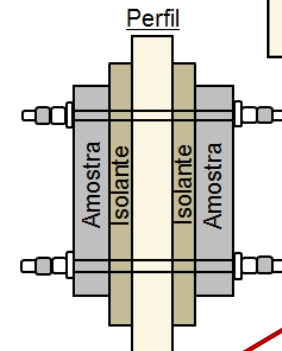


Constituição dos Esquemas de Pintura e respectivas espessuras



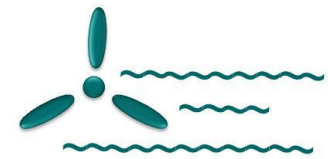
Natureza química dos Esquemas de Pintura

	Primário	Subcapa	Selante	Acabamento
Esq. de Pintura 1	Epoxipoliamida/amina	-----	-----	Epoxipoliamida/amina
Esq. de Pintura 2	Epoxipoliamida/amina	Epoxipoliamida/amina	Silicone	Silicone
Esq. de Pintura 3	Epoxipoliamida	-----	-----	Epoxipoliamida reforçado com fibras de vidro



**TOTAL: 8 Provetes**  
(6 com esquema de pintura)

# PROJETO WIND\_ENERMAR

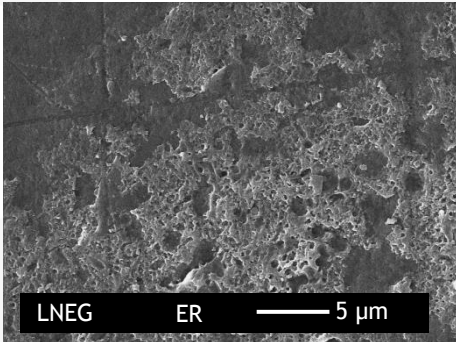


**FASE 2** - Estudo laboratorial das amostras recorrendo a metodologias de ensaio de acordo com a especificação e normalização existente para o sector e a técnicas específicas de caracterização de materiais.

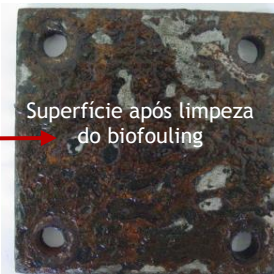
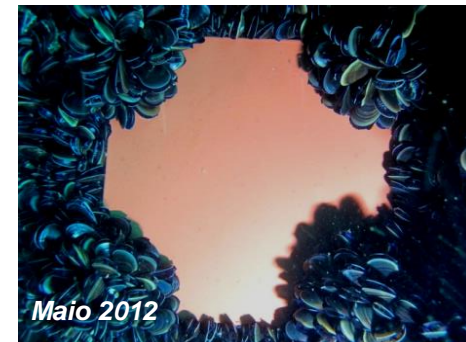
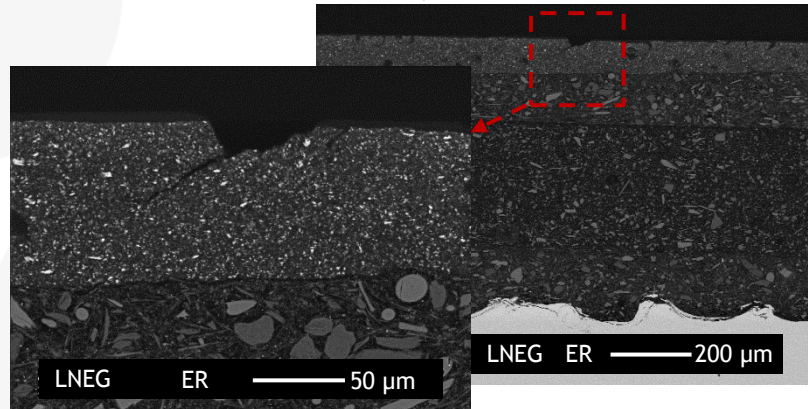
Avaliação da corrosão do aço e do comportamento anticorrosivo dos esquemas de pintura antes e após exposição:

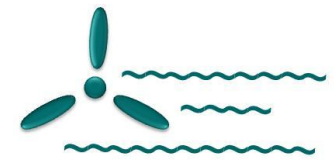
- Cor e alteração de cor (ISO 7724 - 2)
- Velocidade de corrosão do aço (ISO 9226)
- Aderência / pull-off (EN ISO 4624)
- Técnicas avançadas de caracterização de materiais
- Brilho (ISO 2813)

**SZ2** Após 2 anos de Exposição  
(Observação por SEM em superfície)



**SZ2** Após 2 anos de Exposição  
(Observação por SEM em corte transversal)





## FASE 3 - Aquisição/Consolidação de conhecimento vs Disseminação de resultados

O LMR pretende com o projeto Wind\_Enermar otimizar e desenvolver **competências na área da protecção e durabilidade de materiais** associada à exploração de **energia offshore**

possibilitando um incremento da **competitividade** dos diferentes **parceiros industriais Nacionais** directa e indirectamente afectos a este sector.

### Equipa do Projeto Wind\_Enermar

Laboratório de Materiais e Revestimentos



Isabel N. Alves



José Coelho



Mª João Marques



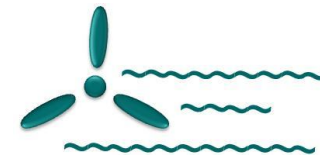
Rita Gonçalves



Teresa Diamantino



# NOVOS DESAFIOS na DURABILIDADE DE MATERIAIS para a EXPLORAÇÃO DE RECURSOS OFFSHORE



Transferência de CONHECIMENTO e COMPETÊNCIAS entre diferentes entidades visando incrementar o tempo de vida útil das estruturas *offshore*



## Linhas Prioritárias de I&D

### Proteção

Novos desenvolvimentos em revestimentos anticorrosivos (Revestimentos antifouling biomiméticos, revestimentos auto-reparadores...)

Materiais compósitos resistentes à corrosão

Proteção catódica

### Monitorização

Sensores

Sistemas de monitorização e diagnóstico

É crucial constituir uma rede de distintos parceiros para conseguir desenvolver competências Nacionais no âmbito da Corrosão Marinha.

## Oportunidades de financiamento...



Considerando a Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020, a Estratégia para o Atlântico e o plano de ação estratégico "Crescimento Azul" para 2020 da CE, os programas de financiamento Nacionais e Internacionais representam uma oportunidade para o desenvolvimento de projetos no âmbito da corrosão e proteção de materiais para a exploração de energia offshore.



A Equipa de projeto agradece:

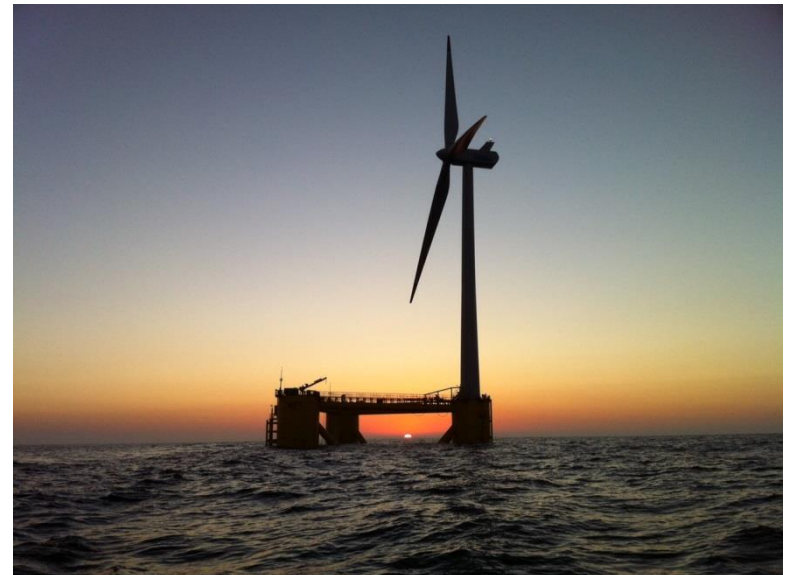
[www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)



pele apoio logístico e por disponibilizar o protótipo WindFloat como plataforma de teste.



pele apoio financeiro.



Muito Obrigada pela atenção.