

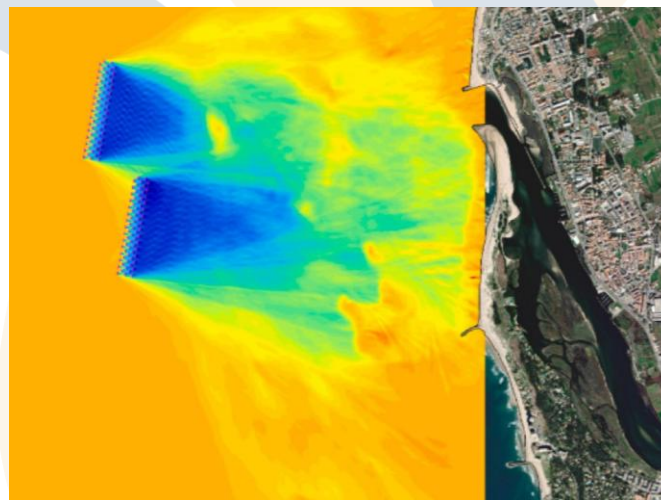


XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

ANÁLISE DO EFEITO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA DAS ONDAS PARA A PROTEÇÃO COSTEIRA NA ZONA NORTE DE PORTUGAL



Daniel CLEMENTE², Felipe TEIXEIRA-DUARTE², Victor RAMOS², Paulo ROSA-SANTOS^{1,2}, Francisco TAVEIRA-PINTO^{1,2}

1. Departamento de Engenharia Civil e Georrecursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, Portugal

2. Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR-LA), Terminal de Cruzeiros do Porto
de Leixões, Av. General Norton de Matos s/n, 4450-208, Matosinhos, Portugal



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



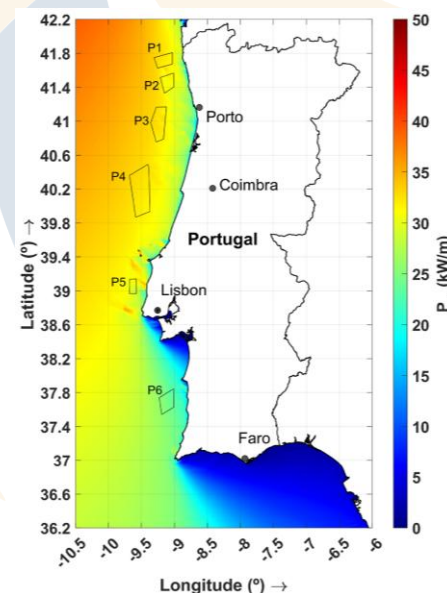
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

1. Introdução

- Proteção costeira: **desafio** - 50% do litoral baixo e arenoso de Portugal continental (425 km de comprimento de um total de 987 km) apresenta tendência erosiva de longo prazo (1958-2023);
- Energia das ondas: **oportunidade** – recurso significativo e inexplorado em Portugal (média de 10 a 35 kW/m).



<https://rea.apambiente.pt/content/linha-de-costa-em-situa%C3%A7%C3%A3o-de-eros%C3%A3o>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148125002022>



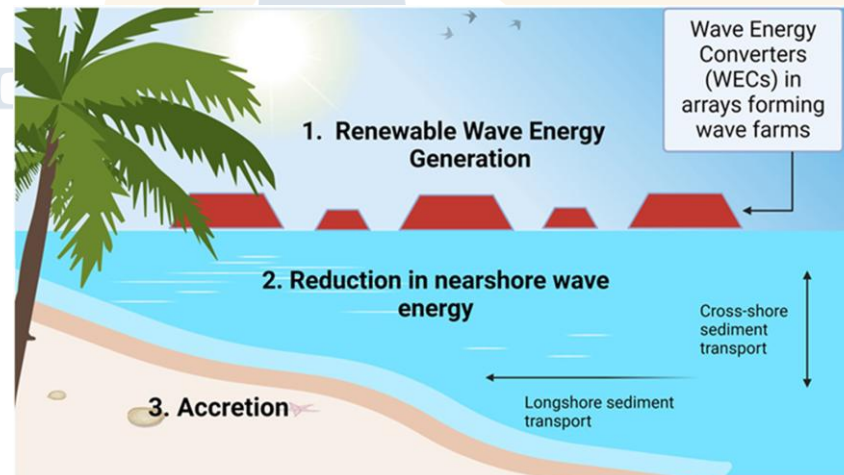
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

1. Introdução

- Desafios a ultrapassar: **conciliação com outros usos e restrições do espaço marítimo + falta de dados reais + otimizar energia das ondas conforme o objetivo (competitiva e eficaz);**
- Parques de conversores de energia das ondas (CEOs): **duplo-propósito** - produção de energia elétrica + atenuação do campo de ondas incidente.



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569125002698>



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



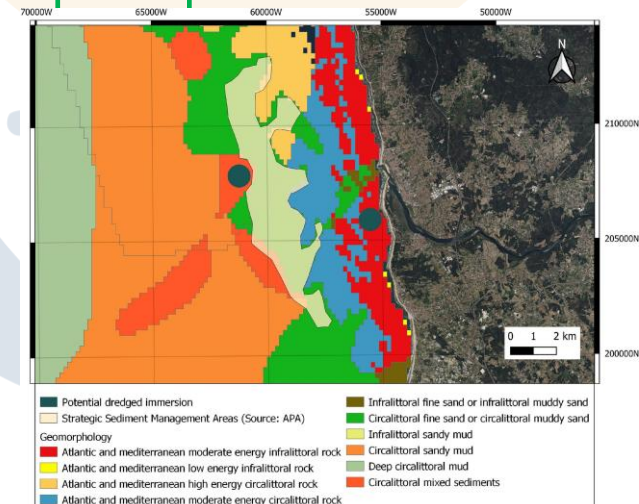
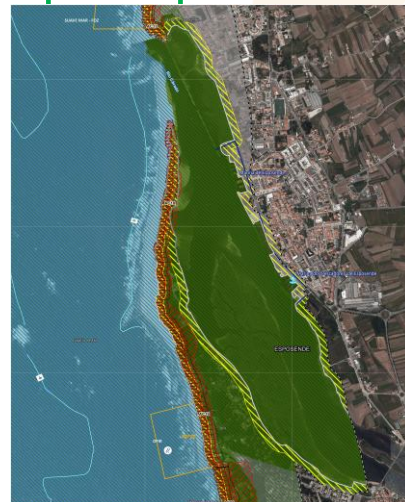
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

2. Caso de estudo

- Esposende: risco de erosão, sobretudo na restinga de Ofir + riscos de inundação costeira + dificuldades na acessibilidade ao canal de navegação + zonas protegidas (PNLN);
- Localização: costa Noroeste (maior recurso) + proximidade à costa (8-20 m profundidade) + produção de energia renovável através de um parque de CEOs + parque em zona que minimiza conflitos.





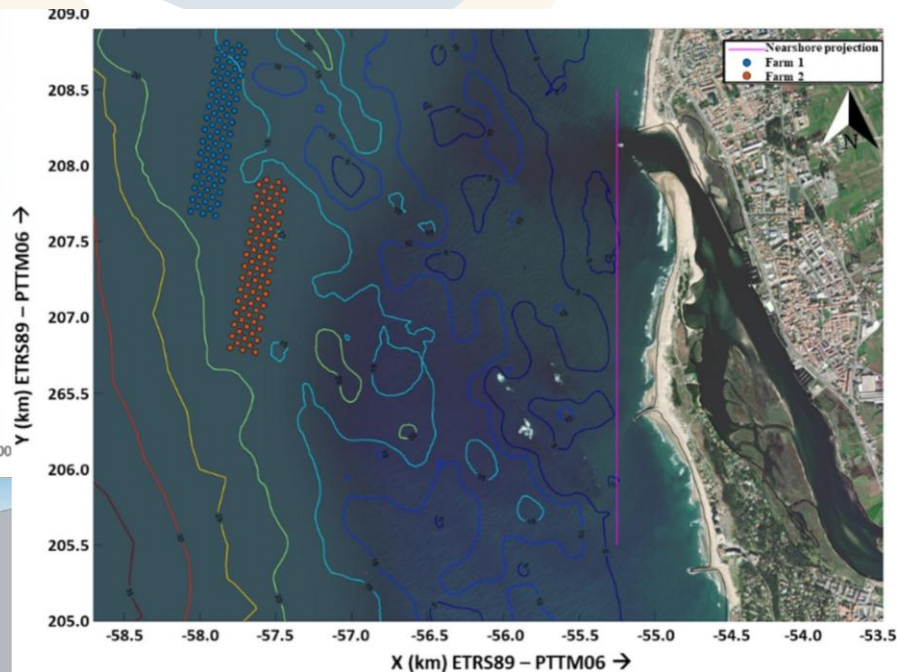
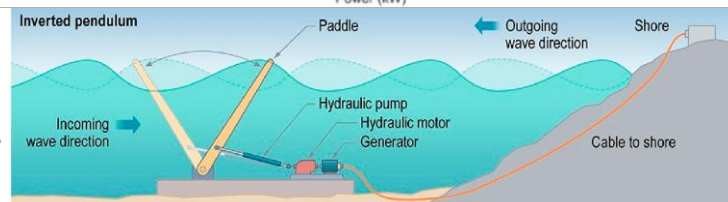
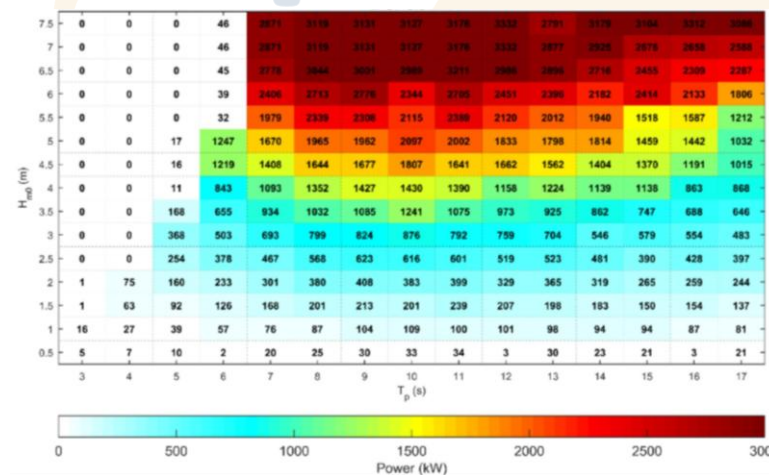
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

2. Caso de estudo

- Tipo de CEO: Oscillating Wave Surge Converter - WaveRoller;
- Parque: **até 150 unidades** – fixo (disposição alinhada “II” versus intercalada “W”) versus otimizada (Algoritmos Genéticos, ou AG);
- Variação de distância entre CEOs, potência e orientação do parque.





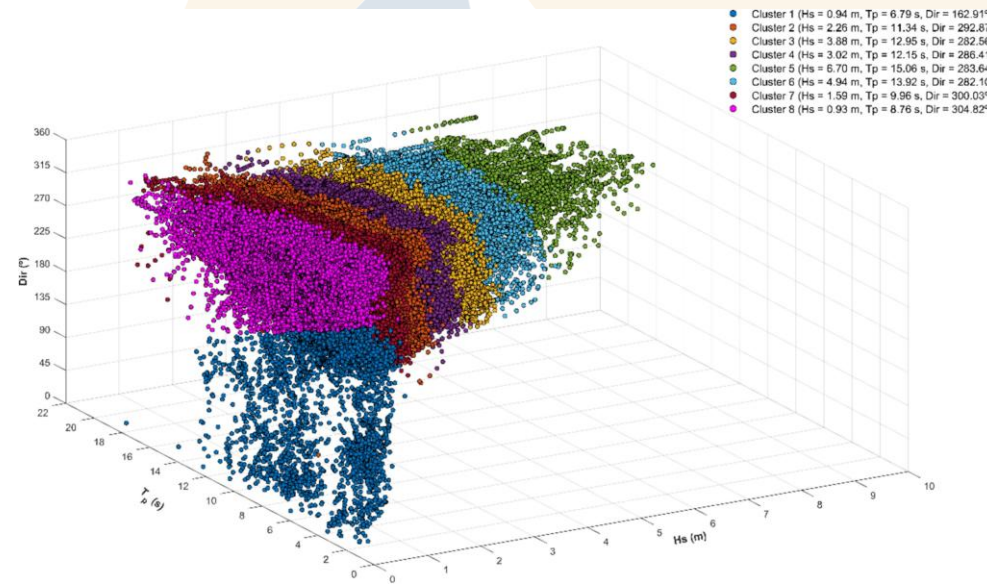
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

2. Caso de estudo

- Série temporal: 01/1990 a 12/2020 (~31 anos) - H_s , T_p e Dir ;
- 8 estados-de-mar representativos: técnica **K-Means clustering**;
- Software de propagação de agitação marítima: **SNL-SWAN** – CEOs como “obstáculos” que “retiram” energia à agitação incidente, com base na matriz de potência e K_t variável;



$$K_t^2 = \frac{P_{Lee}}{P_{Incident}}$$

<https://sandialabs.github.io/SNL-SWAN/implementation.html>



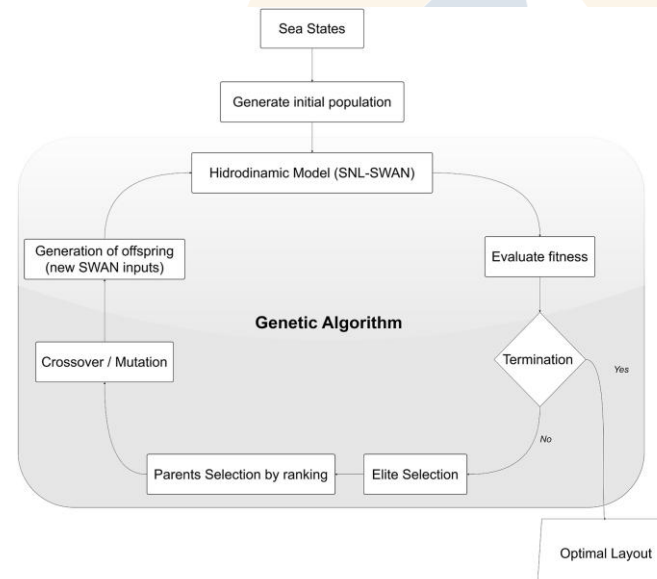
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

2. Caso de estudo

- Aplicação posterior de AG para otimizar disposição do parque;
- Parâmetros AG: *crossover rate* de 70%, população de 25 *arrays*, *elite size* de 12% e *mutation rate* de 1%;
- Dois cenários: proteção costeira versus impacto mínimo – otimização com base no q-factor e nos índices HRA e WLA.



$$HRA = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{Hs_i - Hs_{wec_i}}{Hs_i}$$

$$WLA = pN(q) + sN(HRA)$$

$$q = \frac{P_{array}}{\sum P_{wec}}$$



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

3. Resultados: parque fixo

- Melhores resultados: **parque orientado a 280° , com espaçamento de 1.5 D entre unidades** - 341 353 GWh/ano de energia produzida (AEP) para uma potência instalada de 3.332 MW por conversor;
- O *q-factor* e o Fator de Capacidade (CF) ficaram **abaixo de 1** (cerca de 0.64 e 0.08, respetivamente), indicando interação parcialmente destrutiva entre unidades;
- O nível da maré teve um **impacto negligenciável** nos resultados;
- Ao longo de uma linha de referência a 300 m da costa e com extensão de 3 km, foram identificadas reduções de H_s pontuais superiores a **25%** face à condição sem parque, demonstrando o potencial de proteção costeira desta configuração.



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

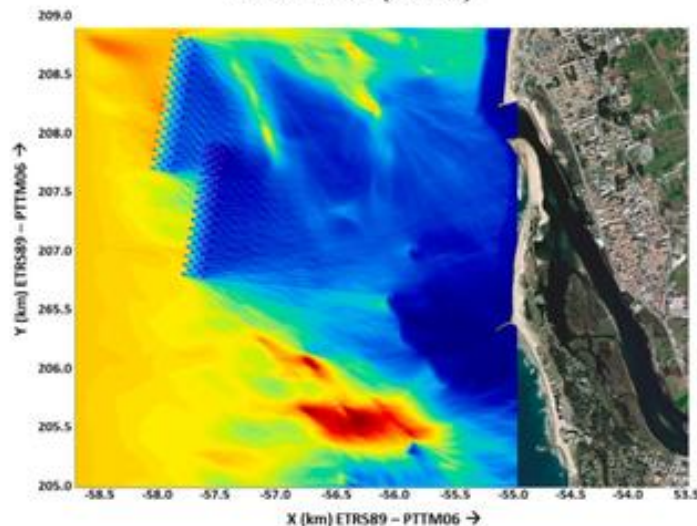
Zonas Costeiras Inteligentes

3. Resultados: parque fixo

Cluster	AEP (GWh/yr)								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
III, 280°	0.153	54.288	52.748	61.023	17.065	42.238	36.631	8.362	272.507
W, 280°	0.152	61.012	58.253	68.069	18.512	46.456	41.121	9.364	302.939
III, 295°	0.177	55.008	53.247	61.735	17.244	42.680	37.032	8.404	275.527
W, 295°	0.177	59.750	55.850	65.683	17.914	44.577	40.973	9.510	294.433
III, 310°	0.199	54.468	51.022	59.959	16.447	40.871	37.349	8.596	268.913
W, 310°	0.199	55.258	50.537	59.846	16.343	40.396	38.639	9.087	270.307



Wave Power (kW/m)



$$CF = \frac{P_{abs}}{P_{rated}}$$

Cluster	AEP (GWh/yr)								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
III, 1D	0.177	55.008	53.247	61.735	17.244	42.680	37.032	8.404	275.527
W, 1D	0.152	61.012	58.253	68.069	18.512	46.456	41.121	9.364	302.939
III, 1.25D	0.194	59.370	56.572	66.167	17.946	45.216	40.605	9.638	295.707
W, 1.25D	0.169	66.291	62.132	73.364	19.427	49.450	45.330	10.798	326.961
III, 1.5D	0.216	63.976	59.923	70.684	18.510	47.751	44.348	10.942	316.351
W, 1.5D	0.183	69.482	64.320	76.413	19.959	51.147	47.928	11.920	341.353

q-factor (-)

III, 1D	0.34	0.54	0.64	0.60	0.71	0.66	0.49	0.36	0.49 (0.54)
W, 1D	0.29	0.60	0.70	0.66	0.77	0.72	0.55	0.41	0.55 (0.58)
III, 1.25D	0.37	0.58	0.68	0.64	0.74	0.70	0.54	0.42	0.54 (0.61)
W, 1.25D	0.33	0.65	0.75	0.71	0.81	0.76	0.61	0.47	0.60 (0.67)
III, 1.5D	0.42	0.63	0.72	0.69	0.77	0.74	0.59	0.47	0.59 (0.68)
W, 1.5D	0.35	0.68	0.77	0.74	0.83	0.79	0.64	0.52	0.64 (0.74)



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

4. Resultados: parque otimizado

- Otimização com dois objetivos simultâneos: maximizar a eficiência de captura de energia (*q-factor*) e controlar a atenuação da agitação na zona de interesse, quantificada pelo índice HRA (Redução da Altura de Onda Significativa na área de interesse) - suportada pelo índice WLA (Avaliação da disposição de parque de energia das ondas), que combina e pondera ambas as métricas (escala normalizada de 0 a 1);
- No cenário de proteção costeira, o AG maximizou simultaneamente o *q-factor* (0.80) e o HRA (18.8%), um aumento de 26% e 40%, respetivamente, face à disposição fixa do caso fixo;
- No cenário de impacto mínimo, o AG maximizou o *q-factor* (0.78) enquanto minimizava o HRA (12.8%), melhorando a produção em 24% e reduzindo o impacto costeiro em 7% face ao caso fixo.

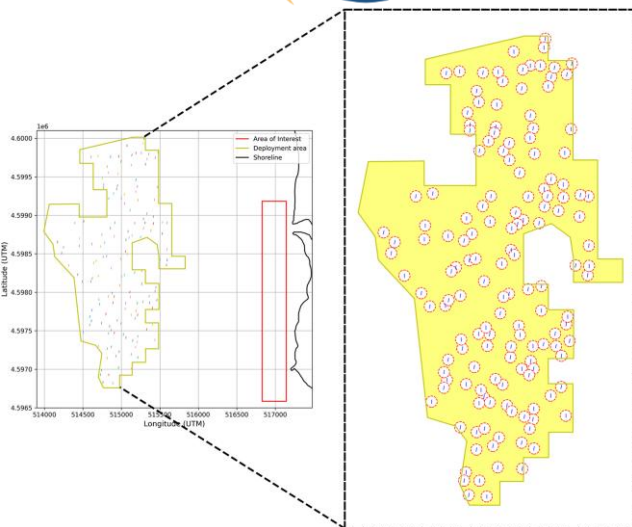


XII CPGZC

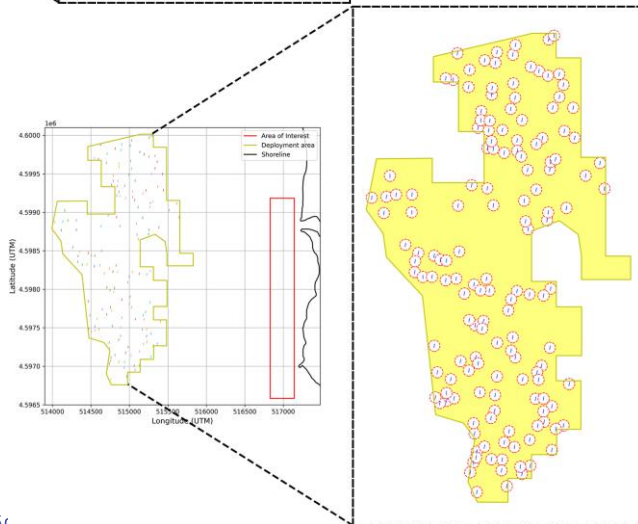
XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

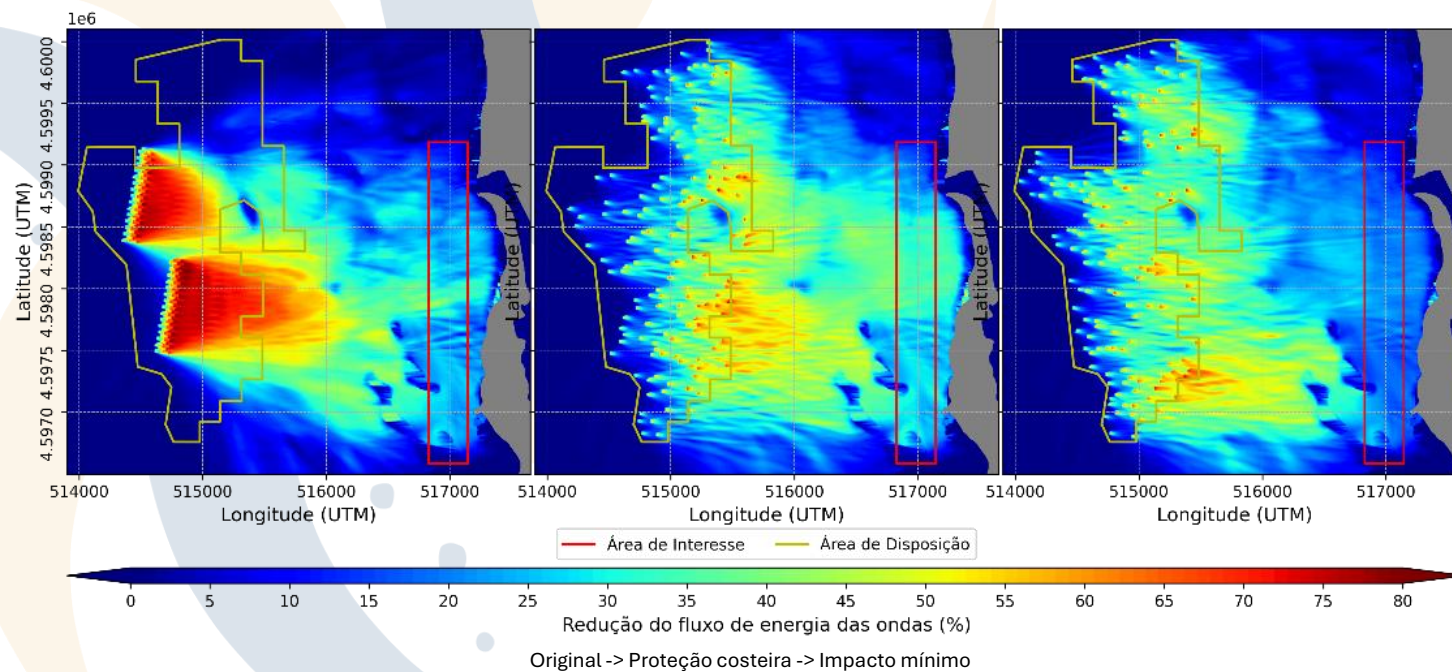
4. Resultados: parque otimizado



Proteção costeira



Impacto mínimo





XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

- 1. Introdução
- 2. Caso de estudo
- 3. Resultados: parque fixo
- 4. Resultados: parque otimizado
- 5. Conclusões



Applied Energy

Volume 379, 1 February 2025, 124950



Assessment of electricity production and coastal protection of a nearshore 500MW wave farm in the north-western Portuguese coast

D. Clemente ^{a b} , V. Ramos ^{a b}, F. Teixeira-Duarte ^{a b}, F.V.C. Taveira-Pinto ^{a b}, P. Rosa-Santos ^{a b}, F. Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124950>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



Coastal Engineering

Volume 204, 30 January 2026, 104907



Optimizing nearshore wave energy Farms: A multi-objective genetic algorithm framework for power capture and coastal protection

Felipe Teixeira-Duarte ^{a b} , Paulo Rosa-Santos ^{a b}, Francisco Taveira-Pinto ^{a b}

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104907>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

Open access



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

5. Conclusões

- Os dois estudos demonstram que parques de CEOs *nearshore* em Esposende têm potencial real tanto para produção de energia renovável como para proteção costeira passiva da restinga de Ófir e do canal do Cávado;
- A introdução da estrutura de otimização com AG apresenta relevância metodológica ao explorar continuamente o espaço de soluções possíveis. Esta ultrapassa as limitações das disposições fixas e adapta o arranjo do parque aos objetivos específicos de gestão costeira;
- As métricas incluídas no WLA constituem referências quantitativas transferíveis para uma vasta gama de casos pelo mundo.



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Financiamento

Estes trabalhos foram financiados pelo projeto “*ATLANTIDA – Platform for the monitoring of the North Atlantic ocean and tools for the sustainable exploitation of the marine resources*”, com a referência NORTE-01-0145-FEDER-000040, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), ao abrigo do Portugal 2020, e pelo projeto OPTIWEF.AI – *Optimization of Wave Energy Farms using Artificial Intelligence*, com a referência 2024.16830.PEX, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia – FCT, no âmbito do Concurso para Projetos de Investigação de caráter Exploratório em Todos os Domínios Científicos 2024 (PeX).

ATLANTIDA

NORTE2020
PROGRAMA OPERACIONAL REGIONAL DO NORTE

PORTUGAL
2020

 **UNIÃO EUROPEIA**
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

fct Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

 **REPÚBLICA
PORTUGUESA**

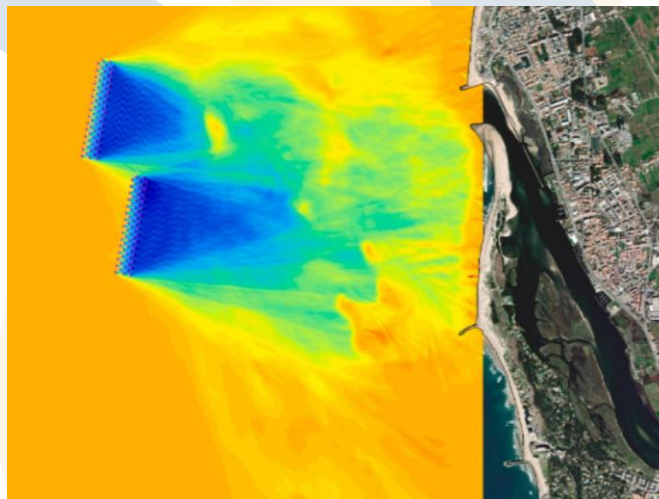


XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO!



Daniel CLEMENTE², Felipe TEIXEIRA-DUARTE², Victor RAMOS², Paulo ROSA-SANTOS^{1,2}, Francisco TAVEIRA-PINTO^{1,2}

1. Departamento de Engenharia Civil e Georrecursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, Portugal
2. Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR-LA), Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, Av. General Norton de Matos s/n, 4450-208, Matosinhos, Portugal