

Avaliação Crítica de Mapas Ambientais de Poluição da Água em Marinas

Critical Assessment of Environmental Maps of Water Pollution in Portuguese Marinas

Maria da Conceição Neves;
Universidade do Algarve, IDL
mneves@ualg.pt

Alexandra Cravo;
Universidade do Algarve, CIMA
acravo@ualg.pt

José Jacob;
Universidade do Algarve, CIMA
jjacob@ualg.pt

Resumo

Este estudo aplica o modelo PSR (“Pressure-State-Response”) para avaliar e mapear o risco ambiental das marinas ao longo da costa de Portugal continental. Focámo-nos em 27 marinas, classificando-as e avaliando-as em termos de risco ambiental para a qualidade da água. A metodologia integra pressões ambientais, condições do estado e respostas sociais, proporcionando aos decisores informação espacial baseada em dados científicos. Construímos uma base de dados que abrange dados de navegação, operações portuárias, dragagens, poluição e uso do solo nas regiões adjacentes. Usando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mapeámos e avaliámos a suscetibilidade, valor ecológico e naturalidade de cada marina, considerando as estratégias de gestão locais para mitigar as pressões humanas. Os nossos resultados revelam que as marinas com maior risco ambiental estão concentradas na região do Algarve, onde as atividades de navegação contribuem significativamente para o risco. No entanto, as discrepâncias entre a classificação de risco e os resultados das análises de dados in-situ da qualidade da água destacam limitações na metodologia baseada no modelo PSR, sugerindo a necessidade de indicadores adicionais. Os mapas de risco resultantes servem como ferramentas valiosas para priorizar planos de intervenção para melhorar a qualidade da água e alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Avaliação de Risco Ambiental, Marinas, Modelo PSR, Qualidade da Água, Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Abstract

This study applies the Pressure-State-Response (PSR) model to assess and map the environmental risk of marinas along the coast of mainland Portugal. We focused on 27 marinas, classifying and evaluating them in terms of their environmental risk to water quality. The methodology integrates environmental pressures, state conditions, and societal responses, providing

VI CONGRESSO INTERNACIONAL
**EDUCAÇÃO, AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO**
13 A 16 NOVEMBRO 2024


ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA
LEIRIA — PORTUGAL

SITE: <http://6cead.ipliria.pt/>

PRESENCIAL
& ONLINE



ORGANIZAÇÃO

 OIKOS
Associação de Defesa
do Ambiente e do Património
da Região de Leiria

 POLITÉCNICO
DE LEIRIA | ESCOLA SUPERIOR
DE EDUCAÇÃO
E CIÊNCIAS SOCIAIS



decision-makers with spatial information based on scientific data. We built a comprehensive database encompassing navigation, port operations, dredging, oil pollution, and nearby land use. Using Geographic Information Systems (GIS) tools, we mapped and evaluated the susceptibility, ecological value, and naturalness of each marina, considering local management strategies to mitigate human pressures. Our results reveal that the marinas with the highest environmental risk are concentrated in the Algarve region, where navigation activities significantly contribute to the risk. However, discrepancies between the risk ranking and in-situ water quality measurements highlight limitations in the PSR-based methodology, suggesting the need for additional indicators. The resulting risk maps serve as valuable tools for prioritizing intervention plans to enhance water quality and achieve sustainable development goals.

Keywords: Environmental Risk Assessment, Marinas, Pressure-State-Response (PSR) Model, Water Quality, Geographic Information Systems (GIS)

Introdução

As marinas desempenham um papel essencial no turismo costeiro, sendo motores de desenvolvimento económico e social. Em Portugal, as atividades marítimas ligadas ao turismo e lazer geram 65% do valor acrescentado bruto da economia do mar, empregando 77.000 pessoas e movimentando 4,8 mil milhões de euros por ano (EY-AM&A, 2019). Para além do apoio à navegação de recreio, as marinas oferecem serviços diversificados que aumentam a atratividade das regiões costeiras. No entanto, estas infraestruturas apresentam riscos ambientais significativos. A circulação reduzida da água nas marinas favorece a acumulação de poluentes, como metais pesados, hidrocarbonetos e microplásticos, prejudicando a qualidade da água e dos sedimentos (Figura 1).





Figura 1. Principais fontes de poluição e poluentes encontrados nos sedimentos e nas águas das marinas.

Este estudo utiliza a metodologia MERA (Avaliação de Risco Ambiental de Marinas) para mapear os riscos ambientais em marinas portuguesas (Gómez et al., 2019; Valdor et al., 2019). Esta metodologia, baseada no modelo Pressão-Estado-Resposta (PSR) (Kelly, 1998), identifica e classifica indicadores de risco, usando dados facilmente acessíveis e analisados por sistemas de informação geográfica (SIG). O objetivo é fornecer uma ferramenta de apoio à decisão para gestores e autoridades ambientais. É a primeira vez que a metodologia MERA é aplicada à costa portuguesa, permitindo uma análise comparativa entre diferentes marinas a nível nacional.

Em Portugal, as entidades gestoras das marinas realizam monitorizações regulares da qualidade da água, mas os dados não são, em geral, de acesso público. Alguns estudos anteriores focaram-se na avaliação da saúde dos ecossistemas em portos comerciais, mas não em marinas (Bebianno et al., 2015). No presente estudo, foi realizada uma campanha de campo para verificar se o risco ambiental mapeado pela MERA era consistente com a análise da qualidade da água. Para isso, utilizou-se o índice TRIX (Vollenweider et al., 1998), que é um indicador ecológico do estado trófico das águas costeiras marinhas, baseado na medição de nutrientes (azoto e fósforo), clorofila-a (biomassa de fitoplâncton) e oxigénio dissolvido.

Dados e Métodos

A metodologia MERA consiste em mapear a distribuição espacial do índice R_i de risco sobre a qualidade da água definido em função das Pressões Pr_i , Estado St_i e Respostas R_{Si} de acordo com a fórmula $R_{Si} = Pr_i \times St_i + R_{Si}$. O primeiro passo da metodologia consiste na estimativa das pressões ambientais relacionadas com as atividades humanas que afetam negativamente a qualidade da água (Figura 2). Estas pressões estão associadas a quatro categorias de atividades, nomeadamente navegação (número de embarcações/área), operações portuárias (presença de estações de combustível e estaleiros), probabilidade de dragagens e existência de atividades perigosas nas áreas terrestres circundantes (num raio de 1 km), incluindo áreas industriais, mineiras, urbanas e agrícolas. O segundo passo consiste na avaliação das condições ambientais em cada marina, descrita por uma relação funcional entre a suscetibilidade do ambiente à poluição, o valor ecológico e o nível de naturalidade.

Para descrever a suscetibilidade é necessário estimar a capacidade de renovação da água no local. Quanto menor for a capacidade de renovação, maior será a suscetibilidade à poluição. Para medir a capacidade de renovação, utiliza-se o Índice de Complexidade de Marinas e Intervalo de Maré (CTRI), que provou ser o mais preciso em estudos anteriores na costa espanhola (Gómez et al., 2017). O



valor ecológico é descrito em função do número de elementos ecológicos singulares, como áreas protegidas nas proximidades da marina. O tipo de marina (ancoradouro, porto ou doca) é usado como proxy do seu nível de naturalidade.

O terceiro passo envolve a avaliação das ações de gestão (respostas) aplicadas a cada marina para mitigar e prevenir os efeitos das pressões humanas. Estas respostas são medidas de mitigação (ações concretas, como práticas de gestão de resíduos) e instrumentos de certificação (como a certificação ISO 14001 (ambiente), ISO 9001 (qualidade), Bandeira Azul (FEE, 2024) e o reconhecimento "Blue Star Marina" atribuído pelo International Marine Certification Institute (ICMI, 2024).

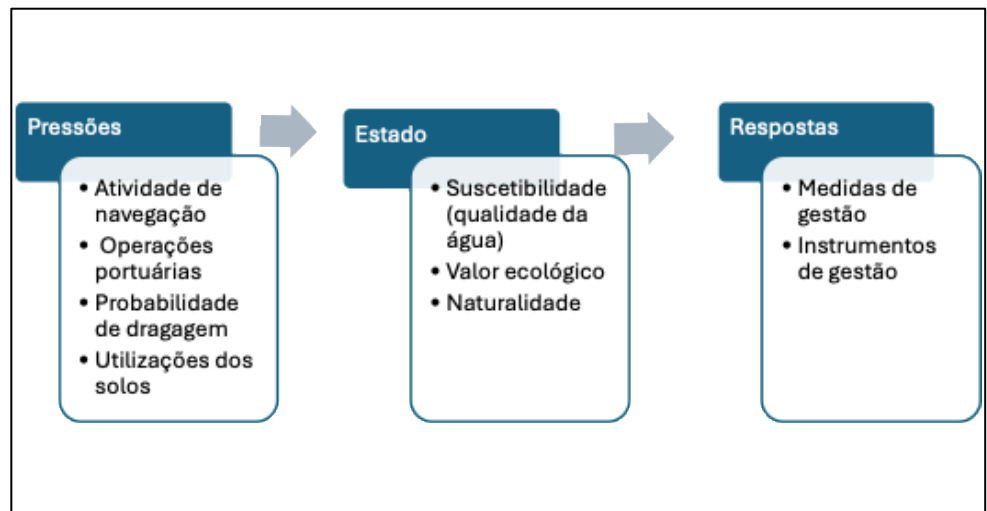


Figura 2. Sumário dos parâmetros utilizados no modelo PSR (Pressure-State-Response) para calcular o índice de risco ambiental de poluição da água em marinas.

Para as 26 principais marinas ao longo da costa portuguesa, registadas no inventário da Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM, 2024), foi calculado o índice multiparamétrico de risco ambiental para a qualidade da água. A base de dados para esta análise foi compilada a partir de informações de várias fontes, incluindo, Marinas de Portugal (APPR, 2024), Docapesca (DocaPesca, 2024) e Instituto Hidrográfico de Portugal (IH, 2024). Para todas as marinas, os indicadores, parâmetros e métricas foram calculados utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), imagens de satélite do Google Earth e dados de uso do solo do CORINE Land Cover como exemplificado na Figura 3 para a marina de Albufeira.

Complementarmente à aplicação da metodologia MERA, foram selecionadas 8 marinas do Algarve para uma avaliação simples da qualidade da água com base em dados de campo e no índice TRIX. O TRIX consiste numa combinação linear dos logaritmos de quatro variáveis de estado: Clorofila-a (ChA, em $\mu\text{g/L}$) - Indicador de biomassa de fitoplâncton; Oxigénio - Desvio percentual absoluto em relação à saturação de 100% (aD%O); Azoto inorgânico dissolvido (DIN) - Soma de amónio, nitrato e nitrito (em $\mu\text{g/L}$); Fósforo inorgânico dissolvido (DIP, em

VI CONGRESSO INTERNACIONAL
**EDUCAÇÃO, AMBIENTE
 E DESENVOLVIMENTO**

13 A 16 NOVEMBRO 2024

ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS
 INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA
 LEIRIA — PORTUGAL

SITE: <http://6cead.ipliria.pt/>

PRESENCIAL
 & ONLINE



$\mu\text{g/L}$ - Indicador de nutrientes disponíveis (Cravo et al., 2020). O índice TRIX é amplamente utilizado para avaliar a eutrofização em águas costeiras, proporcionando uma ferramenta eficiente para monitorizar a qualidade ambiental em marinas e outros ecossistemas aquáticos. Medições in situ e amostras de água foram recolhidas em maio de 2024, a 06/05/2024 na região Oeste e a 15/05/2024 na região Este do Algarve.

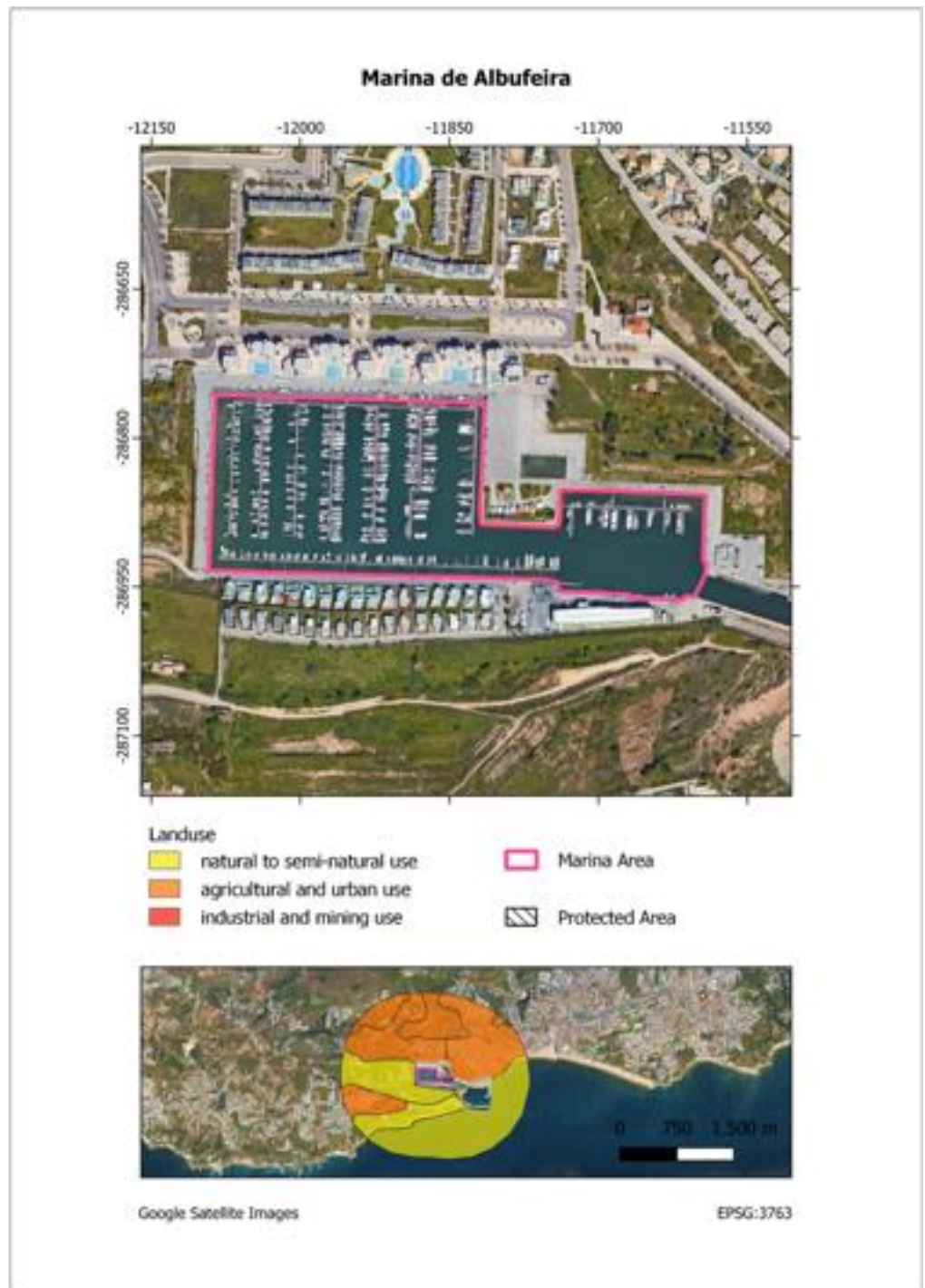
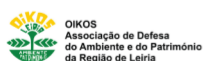


Figura 3. Marina de Albufeira como exemplo da delimitação de áreas e de classificação do uso dos solos usada para calcular os indicadores de Pressão e Estado.

ORGANIZAÇÃO





As amostras de água recolhidas em cada uma das marinas foram armazenadas numa caixa térmica com gelo e transportadas para um laboratório na Universidade do Algarve. No laboratório, as amostras de água foram filtradas com filtros específicos, tanto para a determinação de sólidos suspensos (membranas de acetato de celulose Gelman de $0,45 \mu\text{m}$) como para a determinação de clorofila a (filtros Whatman GF/F de $0,7 \mu\text{m}$). A água filtrada através dos filtros Gelman foi armazenada e congelada para posterior determinação de nutrientes. Os sólidos suspensos, a clorofila a e os macronutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, amónio, fosfato e silicato) foram quantificados através de métodos gravimétricos e espectrofotométricos (Cravo et al., 2020).

Resultados e Discussão

De forma geral, as características das 26 marinas portuguesas consideradas neste estudo são semelhantes às das marinas espanholas localizadas na costa atlântica, com uma amplitude média da maré de aproximadamente 2 metros e uma média de 331 postos de amarração. A atividade de navegação, estimada pela densidade de embarcações (número de postos de amarração por metro quadrado), é muito baixa ou baixa na maioria das marinas. Relativamente ao estado, a suscetibilidade determinada pela capacidade de renovação das águas varia amplamente, sendo que os valores mais elevados do índice foram observados em 7 marinas, das quais 4 estão localizadas no Algarve. As marinas com elevado valor ecológico (6 de 26) estão igualmente concentradas no Algarve, particularmente no setor oriental, nomeadamente em Faro, Olhão e Tavira, localizadas no parque natural da Ria Formosa e no estuário do Guadiana. A tipologia da marina controla a naturalidade, sendo esta classificada como moderada (marina do tipo interior) em 76% das marinas. As respostas estimadas de acordo com as medidas e instrumentos adotados são insuficientes na maioria das marinas, sendo consideradas ótimas em apenas 38% e 23% das marinas, respetivamente.

O risco ambiental foi classificado em cinco categorias: risco muito baixo, risco baixo, risco moderado, risco alto e risco muito alto. Uma representação espacial explícita destas categorias de risco é apresentada na Figura 4. As regiões com o maior número de marinas, a Grande Lisboa (com 9 marinas) e a costa algarvia (com 8 marinas), são também aquelas onde o risco ambiental é mais heterogéneo. É difícil identificar os fatores que mais contribuem para esta heterogeneidade, uma vez que a mesma categoria de risco pode resultar de diferentes níveis de pressões, condições ambientais do estado e respostas. No entanto, foi possível identificar os fatores mais relevantes à escala nacional, sendo eles a atividade de navegação, o valor ecológico, a suscetibilidade, e as respostas (medidas e os instrumentos adotados para reduzir as pressões).

As principais vantagens do método MERA são a comparação do risco relativo e a identificação de marinas de alta prioridade em termos de medidas corretivas ou preventivas necessárias para reduzir a poluição da água. Em Portugal, a maioria



das marinas no norte do País apresenta risco baixo a moderado e, com exceção de Cascais (#9), todas as marinas com risco alto a muito alto estão concentradas no Algarve. As marinas com maior risco são Lagos (#19), Portimão (#20), Faro (#22) e Olhão (#23) (Figura 4). Os fatores que mais contribuem para o risco em Portimão, Faro e Olhão estão relacionados com as pressões, uma vez que estas são as marinas em Portugal com o maior indicador de atividade de navegação. Em Lagos, o fator que domina o risco é a suscetibilidade, que está associada à capacidade de renovação do volume de água, combinando características hidrodinâmicas e morfológicas da marina através do Índice de Complexidade da Amplitude da Maré (CTRI) (Gómez et al., 2017).

Os resultados do TRIX no Algarve (Figura 5) permitem uma comparação imediata entre as marinas, indicando que a qualidade da água é, em geral, boa. Apenas duas marinas, Lagos e Faro, apresentam uma qualidade de água moderada. Estes resultados relativamente homogêneos do TRIX contrastam fortemente com a variada hierarquia de risco do MERA. Esta inconsistência evidencia a principal limitação do MERA: a sua incapacidade de incorporar parâmetros físico-químicos e indicadores de saúde do ecossistema.

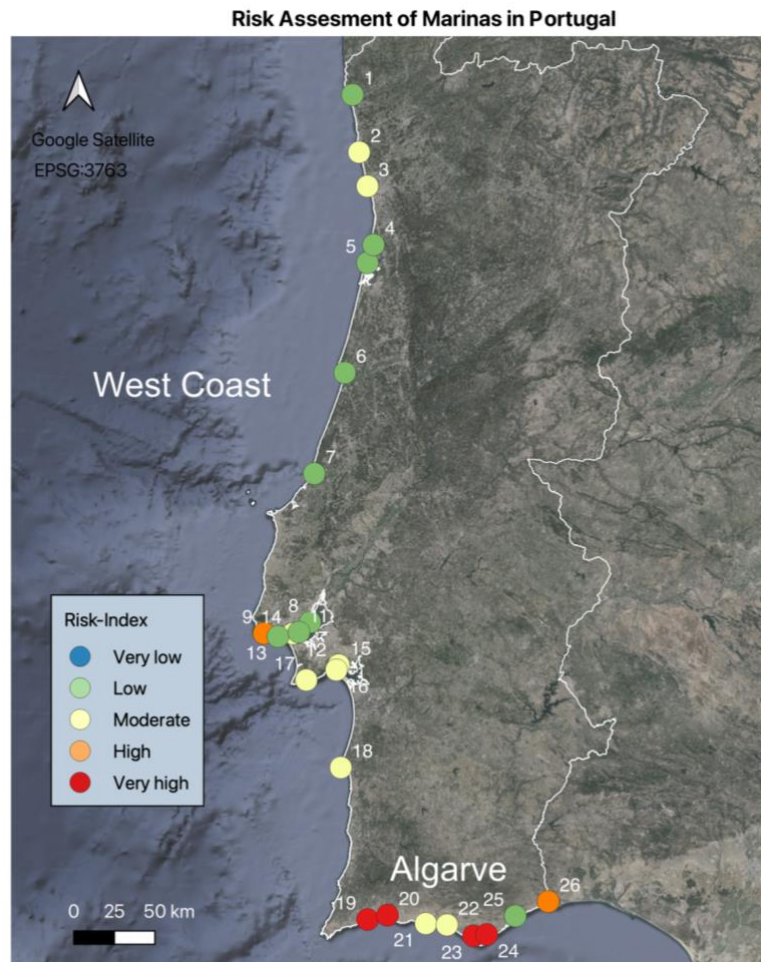


Figura 4. Atlas de Risco Ambiental para a qualidade da água nas marinas ao longo da costa portuguesa.



Pode argumentar-se que os valores de TRIX calculados para as marinas do Algarve, baseados em dois dias de amostragem de água, são apenas representativos das condições instantâneas. Medições repetidas ao longo de períodos mais longos, de forma a cobrir a variabilidade temporal natural esperada, seja em termos de diferentes condições de maré ou de diferentes estações do ano, permitirão uma compreensão mais abrangente do seu estado trófico global.

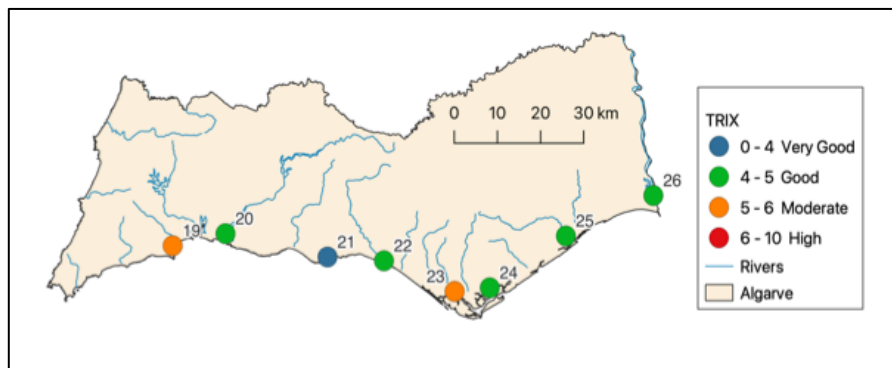


Figura 5. Classificação do índice TRIX para as amostras de água recolhidas nas marinas do Algarve em Maio de 2024.

Como conclusão, em trabalhos futuros de avaliação de risco ambiental para a qualidade da água nas marinas sugere-se a integração de resultados de análise de sedimentos, que outros estudos mostraram ser de extrema importância (Guerra-García et al., 2021). Além disso, a monitorização da qualidade da água e de indicadores ecológicos numa avaliação mais holística do quadro MERA pode fornecer uma ferramenta mais abrangente e dinâmica para a avaliação do risco de poluição da água em marinas. Apesar dos desafios que estas abordagens colocam ao nível da aquisição e processamento de dados recolhidos in-situ, esta abordagem permitirá que os gestores das marinas desenvolvam estratégias de proteção ambiental mais eficazes, tirando partido das potencialidades do MERA e de outras metodologias complementares.

Citações

- APPR. (2024, Janeiro 8). *Associação Portuguesa de Portos de Recreio*. <http://www.marinasdeportugal.pt/pt/marinas-portos>
- Bebiano, M. J., Pereira, C. G., Rey, F., Cravo, A., Duarte, D., D'Errico, G., & Regoli, F. (2015). Integrated approach to assess ecosystem health in harbor areas. *Science of the Total Environment*, 514, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.050>
- Cravo, A., Rosa, A., Jacob, J., & Correia, C. (2020). Dissolved oxygen dynamics in Ria Formosa Lagoon (South Portugal) - A real time monitoring station observatory. *Marine Chemistry*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103806>
- DGRM. (2024). *Marinas e Portos de Recreio*. Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos. <https://www.dgrm.pt/web/guest/marinas-e-portos-de-recreio>
- DocaPesca. (2024, Fevereiro 12). *DocaPesca, Portos e Lotas, S.A.* <https://www.docapesca.pt>

VI CONGRESSO INTERNACIONAL
**EDUCAÇÃO, AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO**
13 A 16 NOVEMBRO 2024

ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS SOCIAIS
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA
LEIRIA — PORTUGAL

SITE: <http://6cead.ipliria.pt/>

PRESENCIAL
& ONLINE



- EY-AM&A, M. B. (2019). *Economia do Mar em Portugal*. Versão Executiva, Millennium BCP, pp. 59.
- FEE, F. for E. E. (2024, Fevereiro 15). *Blue Flag Ecolabel for beaches and Marinas*. <https://www.blueflag.global>
- Gómez, A. G., Ondiviela, B., Fernández, M., & Juanes, J. A. (2017). Atlas of susceptibility to pollution in marinas. Application to the Spanish coast. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.009>
- Gómez, A. G., Valdor, P. F., Ondiviela, B., Díaz, J. L., & Juanes, J. A. (2019). Mapping the environmental risk assessment of marinas on water quality: The Atlas of the Spanish coast. *Marine Pollution Bulletin*, 139(July 2018), 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.008>
- Guerra-García, J. M., Navarro-Barranco, C., Martínez-Laiz, G., Moreira, J., Giráldez, I., Morales, E., Fernández-Romero, A., Florido, M., & Ros, M. (2021). Assessing environmental pollution levels in marinas. *Science of the Total Environment*, 762, 144169. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144169>
- ICMI. (2024, Janeiro 21). *International Marine Certification*. <https://www.imci.org>
- IH. (2024, Janeiro 22). *Instituto Hidrográfico*. <https://www.hidrografico.pt>
- Kelly, K. L. (1998). A systems approach to identifying decisive information for sustainable development. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 452–464. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00070-8)
- Valdor, P. F., Gómez, A. G., Juanes, J. A., Kerléguer, C., Steinberg, P., Tanner, E., MacLeod, C., Knights, A. M., Seitz, R. D., Airolidi, L., Firth, L. B., Crowe, T., Chatziniolaou, E., Smith, A., Arvanitidis, C., Burt, J. A., Brooks, P. R., Ponti, M., Soares-Gomes, A., ... Méndez, G. (2019). A global atlas of the environmental risk of marinas on water quality. *Marine Pollution Bulletin*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110661>
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9(3), 329–357. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199805/06\)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9)

ORGANIZAÇÃO

