

## ÍNDICE DO ESTADO DO MAR NAS APROXIMAÇÕES AOS PORTOS USANDO DADOS DE MODELAÇÃO

Alves, M. (1), Pinto, J. P. (1), Almeida, S. (1), Mota, P. (1), Jorge da Silva, A. (1), Deus, R. (2), Almeida, N. (3)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, nº 49, 1249-093 Lisboa, Portugal.

[margarida.alves@hidrografico.pt](mailto:margarida.alves@hidrografico.pt)

(2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera I.P., Rua C do Aeroporto, 1749-077 Lisboa, Portugal

(3) Deimos Engenharia SA, Av. D. João II, Lote 1.17.01, 10º, Torre Zen, 1998-232 Lisboa, Portugal

### Resumo

O SIMOcean (System for Integrated Monitoring of the Ocean), parcialmente suportado pelo Mecanismo de Financiamento do Espaço Económico Europeu (EEA Grants), teve como objetivo contribuir para uma melhoria na gestão da informação do meio marinho nacional, agregando diferentes fontes de dados: observações *in-situ*, dados de satélite e de modelação. Neste projeto houve uma parceria entre o Instituto Hidrográfico, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera e a Deimos Engenharia, tendo sido desenvolvidos e implementados três casos de aplicação para exemplificar as capacidades do sistema.

O caso de aplicação abordado neste artigo, Índice do Estado do Mar nas Aproximações aos Portos, tem como objetivo criar um serviço de previsão para consulta e apoio à decisão no âmbito da gestão portuária, em particular, no que se refere à determinação dos constrangimentos impostos ao tráfico portuário na entrada e saída dos portos resultantes das condições ambientais. A avaliação de desempenho da metodologia proposta afere e demonstra a praticabilidade de estabelecer uma relação de causalidade entre as condições ambientais e o condicionamento do tráfico portuário.

### 1. Introdução

Portugal é o país com a maior zona económica exclusiva (ZEE) da União Europeia e a 10<sup>a</sup> maior do mundo, sendo essencial a existência de uma gestão integrada do sistema marinho português. Torna-se então necessário proceder a uma combinação de dados e informações das diferentes áreas temáticas, que irão desde as variáveis oceânicas às atmosféricas até, mesmo, a conjuntos de dados de nível superior que descrevem as atividades humanas e impactos ambientais, sociais e económicos. Atualmente, estes conjuntos de dados são recolhidos por um vasto número de instituições, quer públicas quer privadas, com objetivos diversos, o que leva a uma duplicação da informação, à inexistência de dados comuns e padrões de metadados e a propagação de sistemas de informação fechados (Almeida *et al.*, 2016). Essa falta de coordenação e visibilidade dificulta as capacidades de gerir, monitorizar e vigiar o mar, não só dificultando o acesso mas também dificultando a capacidade de desenvolver produtos ou serviços de valor acrescentado. A adoção de uma abordagem *Open Data* trará então benefícios significativos, levando a uma redução de custos de intercâmbio de informações e à integração de dados, promovendo então o uso extensivo destes dados (Lamas *et al.*, 2017).

O projeto SIMOcean (System for Integrated Monitoring of the Ocean) visa contribuir para uma melhoria na gestão da informação do meio marinho nacional, agregando diferentes conjuntos de dados quer de atividades marinhas antropogénicas (por exemplo, tráfico de embarcações, registos de pesca), quer de variáveis ambientais (ondas, correntes, ventos, precipitação). Estes conjuntos de dados atualmente dispersos entre diferentes departamentos

do Instituto Hidrográfico (IH) e do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) serão reunidos de forma a serem explorados por três casos de estudo: 1) Caracterização de zonas de pesca (Lamas *et al.*, 2017); 2) Índice do estado do mar nas aproximações aos portos; e 3) Diagnóstico de parâmetros meteo-oceanográficos (Almeida *et al.*, 2016). O presente trabalho aborda a metodologia utilizada na implementação do segundo caso de estudo que tem como objetivo desenvolver uma ferramenta integrada para apoio à gestão do tráfego portuário.

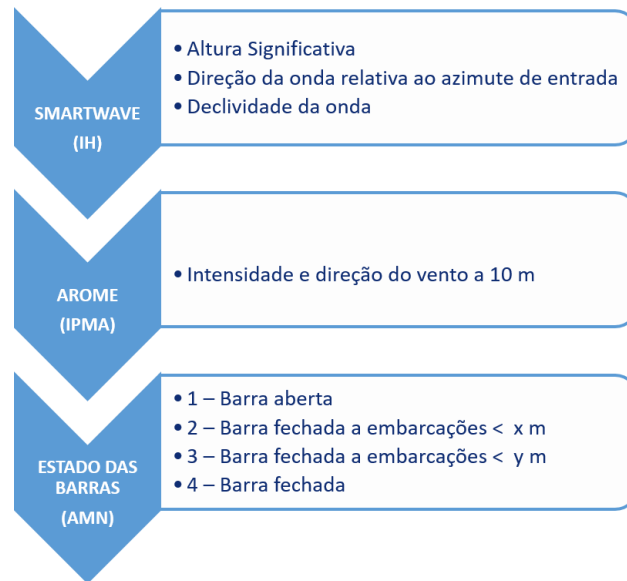
Atualmente, os estados de constrangimento para as barras portuárias encontram-se definidos no Roteiro da Costa de Portugal, publicado pelo IH, sendo da competência das capitânias a responsabilidade de decidir qual o estado a ser adotado. Independentemente de não ser do domínio público as regras que fundamentam o processo de decisão, é natural que se verifique uma correspondência entre as condições de agitação marítima e meteorológicas e os respetivos estados de barra. O índice do estado do mar, determinado a partir de variáveis ambientais modeladas, tem por conceção uma correspondência biunívoca com o estado da barra compatível com uma navegação segura. Para estabelecer a correspondência entre o índice do estado do mar e o estado da barra promulgado, foi treinada uma rede neuronal artificial com uma camada interna sem realimentação, onde as variáveis ambientais formam os dados de entrada e as condições de praticabilidade das barras promulgadas pela Autoridade Marítima Nacional (AMN) nos Avisos à Navegação os dados de saída. Como variáveis de entrada foram utilizados resultados do modelo de previsão da agitação marítima de alta resolução para domínios costeiros SMARTWAVE, desenvolvido no IH em combinação com os resultados do modelo de previsão atmosférico AROME, desenvolvido pela Météo-France e implementado pelo IPMA. Esta metodologia foi implementada e testada para os portos de Viana do Castelo, Póvoa do Varzim, Aveiro e Figueira da Foz (Alves *et al.*, 2016).

A identificação das variáveis ambientais mais suscetíveis de provocar limitações à navegação na embocadura do porto, assim como a exequibilidade e o grau de verossimilhança dum esquema de calibração baseado numa rede neuronal artificial para o estabelecimento da correspondência entre o índice do estado do mar e o estado da barra, formam as principais questões analisadas nesta comunicação.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Dados**

Este estudo centrou-se na região Norte de Portugal Continental e no período desde janeiro de 2016 a março de 2017. O domínio de estudo foi dividido em quatro portos: Viana do Castelo, Póvoa do Varzim, Aveiro e Figueira da Foz. As variáveis usadas para o estabelecimento do índice de estado do mar dividem-se em três conjuntos: parâmetros de agitação marítima e vento à superfície resultantes de modelos físicos e os respetivos estados das barras promulgados pelos capitães de porto (Figura 1).



**Figura 1:** Dados meteo-oceanográficos e estados das barras utilizados no estudo.

Os parâmetros de agitação marítima, que constituem um dos subconjuntos usados para caracterizar e prever os fatores ambientais que podem condicionar o estado da barra, são obtidos através de um modelo de agitação marítima de alta resolução (SMARTWAVE). Este modelo costeiro realiza previsões a cinco dias com um passo temporal de 3 horas e uma resolução espacial de 0.5". Os parâmetros de agitação marítima ao largo, fornecidos pelo sistema operacional de previsão oceânica do IH, constituem as únicas condições de forçamento do modelo (Mota *et al.*, 2014 e Alves *et al.*, 2016). Os parâmetros de agitação marítima usados para o cálculo do índice do estado de mar foram os valores máximos da altura significativa (Swh) e da declividade da onda (Stp), assim como a direção média da agitação marítima (Dir), ao longo do azimute de entrada do porto.

O modelo de previsão atmosférica de alta resolução (AROME) possui 46 níveis verticais e uma resolução horizontal de 2.5 km, com um alcance de 48 horas em modo de previsão operacional. Para este estudo o domínio de AROME utilizado foi o de Portugal Continental que se encontra delimitado pelos paralelos 43°N e 36°N e pelos meridianos 11.5°W e 5.5°W (IPMA, 2017). Os parâmetros meteorológicos considerados foram os valores médios à superfície das componentes zonal (Uw) e meridional (Vw) da velocidade do vento ao longo do azimute de entrada do porto.

Os estados das barras que são utilizados neste estudo podem ser consultados no portal da Autoridade Marítima Nacional ([www.amn.pt](http://www.amn.pt)) e provêm dos Avisos Locais. A informação que se extrai diariamente destes avisos locais reflete o estado de barra promulgado por cada capitão de porto, que dá a informação se a barra se encontra aberta, fechada ou condicionada

Nos portos de Viana do Castelo, Aveiro e Figueira da Foz estão definidos quatro estados de barra possíveis, enquanto para o porto da Póvoa de Varzim apenas existem três. Os estados de barra foram convertidos em valores numéricos de modo a poderem ser incorporados na rede neuronal (Tabela I à IV).

**Tabela I:** Estados de barra aplicados ao Porto de Viana do Castelo (Instituto Hidrográfico, 2015).

Valor	Designação
1	Barra aberta
2	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 12 metros
3	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 30 metros
4	Barra fechada

**Tabela III:** Estados de barra aplicados ao Porto de Aveiro (Instituto Hidrográfico, 2015).

Valor	Designação
1	Barra aberta
2	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 15 metros
3	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 35 metros
4	Barra fechada

**Tabela II:** Estados de barra aplicados ao Porto da Póvoa do Varzim (Instituto Hidrográfico, 2015).

Valor	Designação
1	Barra aberta
2	Barra condicionada – Embarcações com calado superior a 2 metros devem praticar a barra apenas no período compreendido entre 2 horas antes, até 2 horas após a preia-mar.
3	Barra fechada

**Tabela IV:** Estados de barra aplicados ao Porto da Figueira da Foz (Instituto Hidrográfico, 2015).

Valor	Designação
1	Barra aberta
2	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 11 metros
3	Barra fechada a embarcações com comprimento inferior a 35 metros
4	Barra fechada

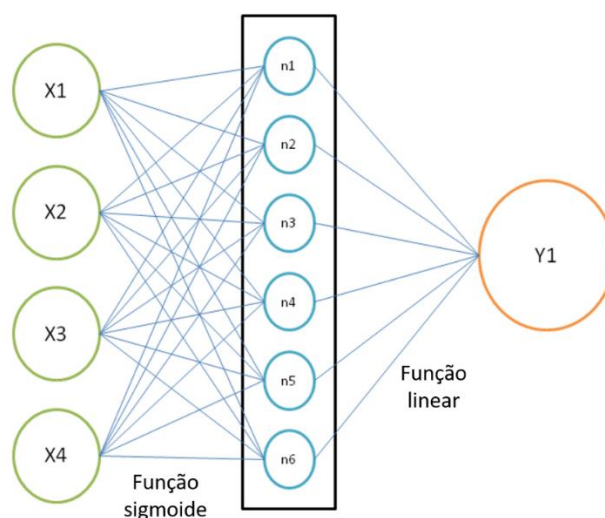
## 2.2. Configuração das redes neuronais

Segundo Cortes e Neves (2000), uma rede neuronal artificial é inspirada no funcionamento de um cérebro e pode-se definir como um sistema interconectado de unidades computacionais que se designam como neurónios ou nós. Esses neurónios tentam estabelecer através dum processo iterativo, uma relação de causalidade entre dois conjuntos de dados, que há partida não é conhecida (Alves *et al.*, 2016).

A arquitetura da rede neuronal pode ser diversa pois esta engloba o número de camadas ocultas, o número de nós de cada camada, o sentido do fluxo de informação, bem como o tipo de funções de ativação que se encontram associadas a cada nó (Alves *et al.*, 2016). Para estes quatro portos em estudo optou-se por usar uma arquitetura simples, apenas com uma camada oculta sem realimentação. Nos testes preliminares foram considerados diferentes tipos de

ativação, tendo-se revelado como a melhor opção a função sigmoide (tangente hiperbólica) para os nós que ligam os dados de entrada, constituídos pelas condições meteo-oceanográficas, à camada oculta e uma função linear entre a camada oculta e o nó de saída associado ao estado da barra (Figura 2).

Numa primeira fase considerou-se apenas o período de inverno de janeiro a março de 2016 para o treino da rede neuronal. No entanto verificou-se que os dados não tinham a variabilidade suficiente para estabelecer uma correspondência razoável entre as variáveis ambientais e o estado da barra, tendo sido necessário alargar este período, incluindo condições de verão, de modo a obter uma calibração mais efetiva desta relação de causalidade. Assim, foi efetuado um novo treino estendendo o período de janeiro de 2016 a março de 2017.



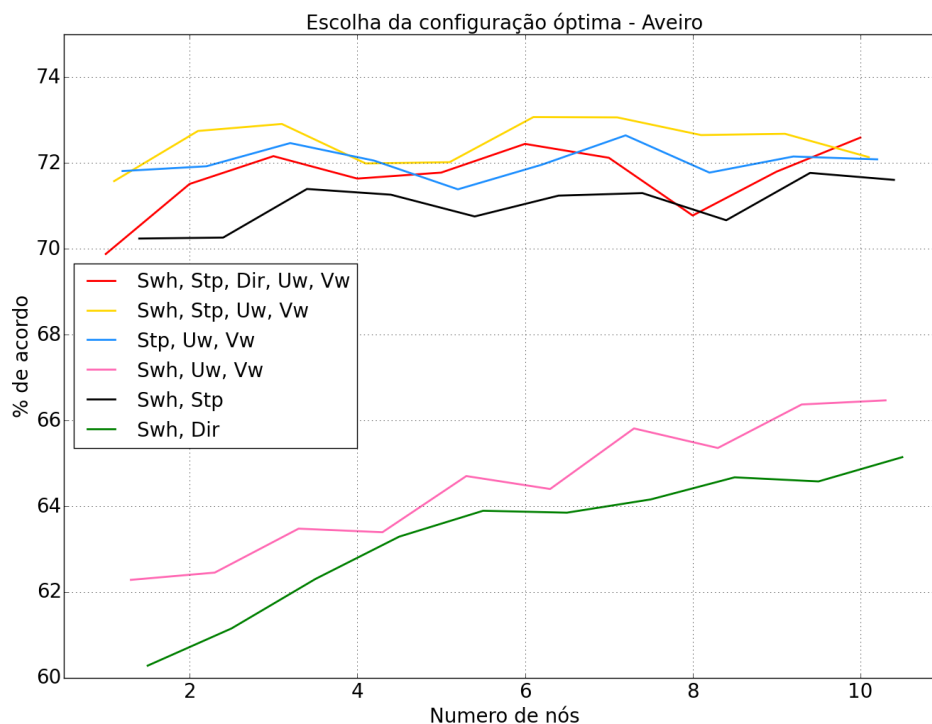
**Figura 2:** Arquitetura da rede neuronal utilizada.

O esquema usado para o treino da rede neuronal em cada porto divide aleatoriamente a amostra, constituída pelo registo temporal dos dados de entrada e saída, em dois conjuntos: um conjunto de treino constituído por 75% dos dados da amostra e um conjunto de teste com os restantes 25% dos dados. Após efetuado o treino da rede, que permite estabelecer e calibrar uma relação funcional entre os dados de entrada e os dados de saída, a comparação entre o estado da barra simulado e o estado da barra promulgado para o conjunto de teste possibilita quantificar o desempenho e a praticabilidade desta metodologia.

Para cada um dos portos onde se implementou esta metodologia foi realizada uma análise de sensibilidade com o objetivo de identificar as variáveis ambientais e o número de nós da camada oculta que maximizam o desempenho da rede neuronal. O procedimento adotado consistiu em treinar a rede para um número crescente de nós da camada oculta (1 a 10 nós) e para diferentes combinações das variáveis ambientais. O processo foi repetido 100 vezes para cada caso de modo a determinar o desempenho da rede, medido pela percentagem média de acertos entre o estado da barra simulado (o índice do estado do mar) e o estado da barra promulgado, assim como a variabilidade associada à divisão aleatória da amostra.

A Figura 3 ilustra os resultados desta análise para o porto de Aveiro. Verifica-se que as combinações onde não se considera a declividade da onda (Stp) apresentam um menor desempenho, apesar de existir uma melhoria com o aumento do número de nós e de, em ambos os casos analisados, se ter considerado a altura significativa da onda. Para as restantes combinações o acordo obtido entre os estados da barra simulados e promulgados é idêntico e relativamente independente do número de nós. Os resultados sugerem que a declividade da onda, e não a altura significativa como se poderia inicialmente pensar, é a variável que melhor

descreve a correspondência entre os fatores ambientais e as condições de navegabilidade na entrada e saída dos portos. A variabilidade associada à divisão aleatória da amostra não é ilustrada na Figura 3. No entanto mostrou-se que esta não segue um padrão definido pelo número de nós ou pela combinação de variáveis usada, podendo causar variações de  $\pm 3\%$  no desempenho da rede. Os resultados obtidos relativamente ao desempenho da rede nos restantes portos são qualitativamente semelhantes. A diferença é meramente quantitativa sendo de salientar que o porto para o qual se obtém menor desempenho é o da Figueira da Foz.



**Figura 3:** Valor médio do desempenho da rede neuronal em função do número de nós da camada oculta e para diferentes combinações de variáveis meteo-oceanográficas.

A escolha do número de nós e a combinação de variáveis meteo-oceanográficas a utilizar em cada porto foi feita com base numa conjugação ótima entre a percentagem média de acordo e a respetiva variabilidade. No porto de Viana do Castelo o número de nós da camada oculta foi 7, para a Póvoa do Varzim foi 8, para Aveiro foi de 9 e para a Figueira da Foz foi de 10. Para os portos de Viana do Castelo e Póvoa do Varzim foram usadas duas variáveis, altura significativa e declividade da onda, enquanto para os restantes portos foram utilizadas as variáveis mencionadas anteriormente, mais as componentes médias do vento e a direção da onda relativa ao azimute de entrada.

### 3. Desempenho da rede neuronal

Apesar de sofrerem condições ambientais semelhantes e do tipo de tráfico marítimo ser idêntico, os portos considerados neste estudo possuem características diferentes que resultam em condições de navegabilidade diversas. Consequentemente, o desempenho da rede neuronal apresenta diferenças quantitativas entre os diferentes portos. Nesta secção é apresentada, em cada um dos portos, uma avaliação da metodologia proposta que tem como objetivo principal quantificar a fiabilidade e o grau de verossimilhança do sistema de previsão implementado.

Como mencionado na secção anterior, houve uma separação de dados da qual 75% fizeram parte da aprendizagem/treino da rede e 25% para o teste da mesma. Com esses 25%

procedeu-se a uma comparação de estados de barra simulados pela rede neuronal com os estados da barra promulgados pela AMN. Esses resultados são apresentados de uma forma matricial nas Tabelas V-VIII; o elemento  $P_{ij}$  ( $i, j = 1, \dots, 4$ ) representa a percentagem do número de ocorrências em que o estado da barra emitido pela AMN é  $i$  e o estado da barra simulado pela rede neuronal é  $j$ . A soma dos elementos da diagonal é apresentada em todas as tabelas como a percentagem de acertos. Os elementos acima da diagonal (laranja) estão associados às situações em que o estado da barra simulado prevê um constrangimento superior ao estado da barra promulgado (a rede é menos permissiva). Os elementos abaixo da diagonal (verde) estão associados às situações onde o estado da barra simulado prevê um constrangimento inferior ao estado da barra promulgado (a rede é mais permissiva). A última coluna apresenta o número de ocorrências associado a cada estado da barra promulgado.

Tendo em conta que os casos de potencial constrangimento são precisamente as circunstâncias em que o apoio à decisão se torna mais premente, a avaliação de desempenho da rede neuronal será focada, em cada porto, nas situações onde a decisão foi de barra condicionada ou barra fechada.

### 3.1. Porto de Viana do Castelo

O porto de Viana do Castelo pode-se definir como um porto natural situado no troço final do Rio Lima. Desde meados dos anos 80, este porto tem vindo a desenvolver-se nas vertentes comerciais, industriais, piscatórias e de lazer. Parte do seu movimento comercial deve-se a cargas de granéis sólidos e líquidos e carga contentorizada, estando uma grande fatia representada pelo transporte de asfalto e de cimentos. A vertente piscatória neste porto tem vindo a sofrer um constate decréscimo, registando-se um número cada vez menor de embarcações. Neste porto existem condições condicionantes para as dimensões máximas de navios, limites verticais e de correntes. Quanto às dimensões máximas, este porto admite embarcações até 180 metros, fora-a-fora, e um calado máximo de 8 metros. A nível de limites verticais encontra-se também limitado devido à existência de uma ponte com a altura mínima de 4.4 metros. As correntes de maré nesta zona são devidas a dois fatores, a ação da maré e dos ventos predominantes. Para as direções do vento dos setores de N e NW o valor da corrente não excede os 0.6 nós, no entanto na ocorrência contínua de ventos fortes de SW, a corrente passa a ser para N, podendo atingir valores de 0.8 nós (Instituto Hidrográfico, 2015).

O porto de Viana do Castelo é caracterizado por possuir boas condições de navegabilidade. As situações de condicionamento e de barra fechada são raras e estão associadas a eventos extremamente energéticos. Neste cenário não é de estranhar um desempenho excelente da rede neuronal com 96.88% de acordos (tabela V), em grande maioria associados às situações de barra aberta. As falhas são residuais e com pouca representação estatística. No entanto se considerarmos apenas as situações de constrangimento emitidas pela AMN (aproximadamente 3% das ocorrências), verifica-se um desacordo bastante elevado entre as simulações e as decisões tomadas. Nas 19 ocorrências onde a decisão do capitão de porto foi barra condicionada (2,3) ou barra fechada (4), a rede neuronal apenas acertou numa das ocorrências. Nestes casos, e face aos avisos emitidos, a rede exhibe uma tendência claramente mais permissiva.

**Tabela V:** Tabela de concordâncias para o porto de Viana do Castelo.

		Simulação				Ocorrências
		1	2	3	4	
Decisão	1	96.72%	0.31%	0.00%	0.00%	621
	2	1.25%	0.00%	0.00%	0.00%	8
	3	0.63%	0.47%	0.16%	0.00%	8
	4	0.00%	0.00%	0.47%	0.00%	3
	Porcentagem de acertos					96.88%

### 3.2. Porto da Póvoa do Varzim

O porto de Póvoa de Varzim, segundo o Roteiro da Costa de Portugal, é um porto artificial onde os fundos na barra e no porto se alteram com regularidade, encontrando-se atualmente muito assoreados. As correntes na barra deste porto e no seu interior podem-se caracterizar como não sendo significativas. A zona interna deste porto encontra-se abrigada da ondulação de qualquer quadrante, no entanto, a barra é muito sensível à ondulação. Com uma agitação marítima na ordem dos 3 metros ou superior, verifica-se a existência de rebentação ao longo de toda a sua extensão tornando-se frequentemente impraticável para pequenas embarcações.

Durante o período utilizado para o treino da rede neuronal, o porto da Póvoa tem-se encontrado assoreado, razão pela qual a barra tem permanecido sempre com constrangimentos. Para além dessa particularidade, este porto, como mencionado na secção anterior, apenas apresenta três estados de barra (Instituto Hidrográfico, 2015). Assim, e relativamente ao período de estudo, apenas ocorreram dois estados de barra; barra condicionada e barra fechada.

Ao analisar a matriz de concordância para este porto (Tabela VI) comprava-se que existe uma percentagem de concordância de 95.95%, sendo 85.98% para os casos em que a barra se encontra condicionada e 9.97% para as situações de barra fechada. As situações de barra fechada são razoavelmente bem descritas pela rede. Das 76 ocorrências onde a decisão foi a de fechar a barra, o esquema de previsão acertou em 64. Para as restantes 12 ocorrências a previsão da rede foi a de barra condicionada.

**Tabela VI:** Tabela de concordâncias para o porto da Póvoa do Varzim.

		Simulação			Ocorrências
		1	2	3	
Decisão	1	0.00%	0.00%	0.00%	0
	2	0.00%	85.98%	2.18%	566
	3	0.00%	1.87%	9.97%	76
	Porcentagem de acertos				95.95%

### 3.3. Porto de Aveiro

O porto de Aveiro encontra-se situado na extensa laguna interior que constitui a Ria de Aveiro, possuindo uma infraestrutura portuária recente e multifuncional com uma área portuária bem organizada e integrada. Este porto desempenha um papel primordial no serviço de diversos setores da indústria, tais como a indústria da cerâmica, química, vitivinícola, metalúrgica, madeira e derivados, mas também no setor agroalimentar e da construção. Para além de todas as características mencionadas, a atividade piscatória constitui um importante setor, quer a nível económico quer social, sendo considerado um dos principais portos de pesca portugueses (Instituto Hidrográfico, 2015).



Fora da barra e até 3 milhas da costa, a corrente neste porto geralmente corre de norte para sul, não atingindo valores superiores a 1 nó. Na zona de embocadura, as correntes de maré correm sensivelmente ao longo do respetivo eixo, mas depois dos molhes inletem para SW (Instituto Hidrográfico, 2015).

O porto de Aveiro, ao contrário do porto de Viana do Castelo, caracteriza-se por um número significativo de constrangimentos. Para o período de treino da rede neuronal considerado, as situações de barra condicionada ou fechada perfazem 18.4%. Como no porto de Viana, a rede prevê com elevada fiabilidade os casos de barra aberta, apenas errando em 2.5% das ocorrências, resultado que contribui para uma percentagem de acerto total de 90.25%. No entanto, o desempenho da rede é reduzido nas situações de constrangimento, onde os acertos são apenas da ordem dos 58% (Tabela VII). Tal como no porto de Viana do Castelo, verifica-se que nas situações onde a decisão tomada pelo capitão de porto foi de barra condicionada ou barra fechada a rede mostrou uma tendência permissiva.

**Tabela VII:** Tabela de concordâncias para o porto de Aveiro.

		Simulação				Ocorrências
		1	2	3	4	
Decisão	1	79.56%	2.04%	0.00%	0.00%	519
	2	3.62%	7.23%	1.10%	0.00%	76
	3	0.47%	2.04%	2.36%	0.00%	31
	4	0.00%	0.16%	0.31%	1.10%	10
	Percentagem de acertos					90.25%

### 3.4. Porto da Figueira da Foz

O porto da Figueira da Foz descreve-se como um porto natural situado no estuário do Rio Mondego. Este porto, em conjunto com o porto de Aveiro, tem como estratégia atender às necessidades logísticas da Região Centro do País. A atividade piscatória é um importante setor, de âmbito económico e social, sendo um dos principais portos de pesca portugueses (Instituto Hidrográfico, 2015).

Neste porto podem operar embarcações com um comprimento máximo de 120 metros (fora-a-fora), uma boca máxima de 18,5 metros e um calado máximo de 6 metros. Nas imediações do porto a corrente predominante é de N, com valores que, por norma, não atingem 1 nó, mas na zona portuária a corrente desenvolve-se na direção da barra, podendo atingir um valor de 4 nós na vazante. Esta região, a ondulação predominante é de NW e nos meses de novembro a fevereiro com frequência moderada a forte, propagando-se para além dos molhes ao longo da barra, tornando-a por vezes condicionada ou impraticável. Já no interior do porto, os efeitos da agitação marítima não se fazem sentir (Instituto Hidrográfico, 2015).

As situações de constrangimento no porto da Figueira da Foz são semelhantes às que ocorrem no porto de Aveiro assim como idêntico é o desempenho da rede neuronal. A única diferença substantiva é no grau de constrangimento que tende a ser mais restritivo no porto da Figueira (tabelas VII-VIII). Para os casos onde a decisão tomada foi de barra condicionada ou barra fechada, que perfazem 22.4% do total de ocorrências, a rede exibiu uma percentagem de acerto de 62% (Tabela VIII). Tal como nos portos de Viana do Castelo e de Aveiro, estas discordâncias apresentam um padrão de permissividade. Nas situações onde a decisão tomada foi a de barra aberta a percentagem de discordâncias na previsão é de 5.8%, superior ao ocorrido no porto de Aveiro e que explica a relativa menor percentagem de acertos total.

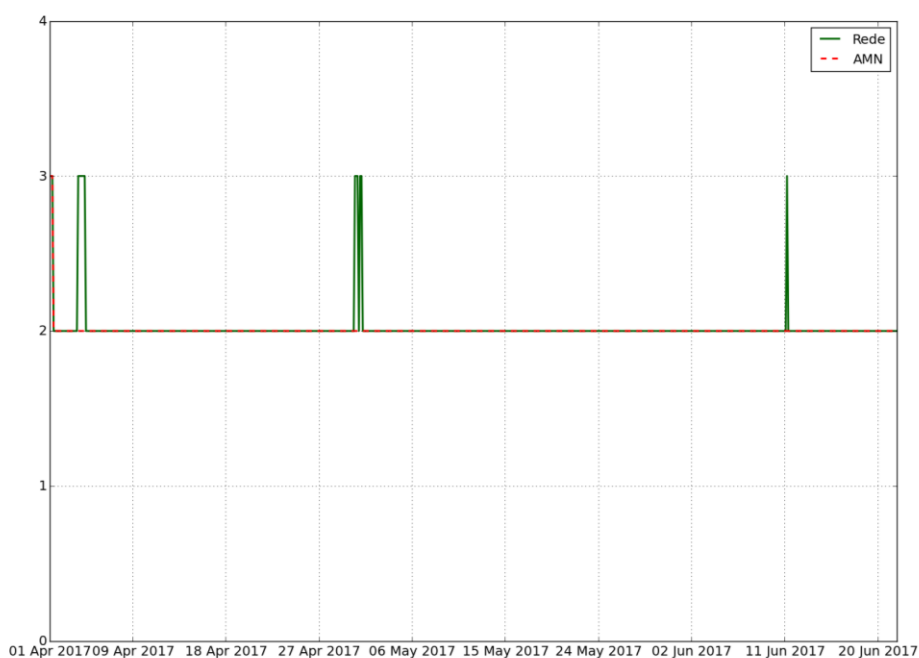
**Tabela VIII:** Tabela de concordâncias para o porto da Figueira da Foz.

		Simulação				Ocorrências
		1	2	3	4	
Decisão	1	71.95%	4.57%	1.07%	0.00%	509
	2	2.13%	2.29%	1.68%	0.00%	40
	3	0.61%	2.13%	8.99%	1.07%	84
	4	0.00%	0.00%	0.91%	2.59%	23
	Percentagem de acertos					85.82%

#### 4. Análise das discordâncias

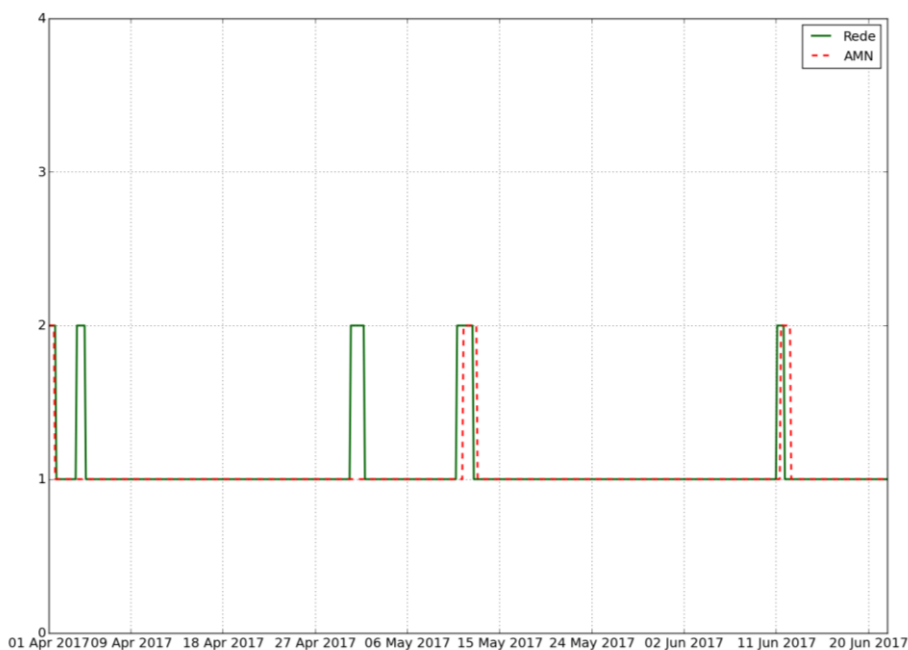
Os portos utilizados para demonstrar a praticabilidade desta metodologia exibem diferentes características que se refletem no comportamento da rede neuronal implementada para a previsão das condições de navegabilidade, em particular, no padrão de discordâncias entre o estado da barra promulgado e o estado da barra simulado.

Por razões diferentes, os portos de Viana do Castelo e da Póvoa do Varzim apresentam resultados compreensíveis e aceitáveis. Em Viana, as discordâncias estão associadas às situações, muito excepcionais, onde se tomou a decisão de limitar o tráfego marítimo e para as quais a discordância é praticamente total. Em dezanove circunstâncias de constrangimento a rede acertou apenas uma. No entanto este comportamento é expectável e explicado pelo facto de não existirem suficientes casos de constrangimento que permitam uma calibração efetiva da rede neuronal. A forma de ultrapassar este problema passa por considerar mais situações de constrangimento no treino da rede para o porto de Viana do Castelo. Por outro lado, a elevada fiabilidade obtida no porto da Póvoa resulta do facto de neste porto apenas existirem dois estados de barra e, por consequência, as possibilidades de erro serem substancialmente menores. Uma análise mais detalhada das discordâncias realizada no período de 1 de abril a 30 de junho de 2017 (figura 4), posterior ao período de treino da rede neuronal, mostra que a maioria dos erros no porto da Póvoa, já de si residuais, são de curta duração e ocorrem durante a noite onde não são em geral emitidos avisos e alterações ao estado das barras.



**Figura 4:** Análise das discordâncias realizadas para o porto da Póvoa do Varzim no período de 1 de abril a 30 de junho de 2017.

As discordâncias encontradas nos portos de Aveiro e Figueira da Foz, cujo padrão é semelhante, não são passíveis de serem completamente justificadas pela falta de condições de constrangimento na calibração das respectivas redes neuronais. Como se mostrou na secção anterior, o desempenho das redes em circunstâncias de constrangimento revela percentagens de acerto um pouco acima dos 50% apesar de no treino das redes um número não desprezável de situações de tráfico limitado terem sido consideradas. Sem dúvida que um maior número de condições de constrangimento para efeitos de calibração beneficiará o desempenho do esquema para a previsão do estado da barra nestes portos. No entanto, as discordâncias poderão ter outras origens cuja relevância convém destacar. A figura 5 confronta a previsão e os avisos para o estado da barra de Aveiro no período de 1 de abril a 30 de junho de 2017.



**Figura 5:** Análise das discordâncias realizadas para o porto de Aveiro no período de 1 de abril a 30 de junho de 2017.

As discordâncias entre a rede e as decisões tomadas pela AMN no período em análise são de dois tipos: A simulação da rede prevê barra condicionada mas a decisão tomada foi a de barra aberta e a previsão da rede encontra-se desfasada no tempo face aos avisos da Autoridade Marítima. O primeiro caso, para o qual se verificam dois eventos neste período, tem uma percentagem de ocorrência de 2% (Tabela VII), de acordo com os resultados obtidos para o período de treino/teste. O primeiro evento discordante ocorreu praticamente durante a noite, entre as 18 horas do dia 3 de abril até às 12 horas do dia seguinte. O segundo evento discordante teve uma duração maior, abrangendo todo o período diurno do dia 3 de maio. O segundo caso, igualmente com dois eventos neste período, caracteriza-se por antecipação noturna da rede.

Embora o período em análise não seja suficiente longo nem representativo, não abrangendo o inverno onde as limitações ao tráfico são mais recorrentes, este estudo preliminar evidencia que algumas das discordâncias são aparentes. Dos 4 eventos discordantes apenas num o resultado do esquema de previsão não se encontra em conformidade com a decisão tomada pelo capitão de porto.

## 5. Conclusões

A viabilidade de uma metodologia para a previsão dos estados da barra usando um esquema de calibração baseado numa rede neuronal foi demonstrada. A avaliação do desempenho da metodologia proposta foi realizada nos portos de Viana do Castelo, Póvoa do

Varzim, Aveiro e Figueira da Foz. Os casos onde a decisão tomada foi a de barra aberta são bem descritos pelo esquema de previsão em comparação com os casos onde a decisão foi barra condicionada/fechada. De facto, com a exceção da Póvoa onde o desempenho da metodologia proposta é ótima devido ao facto deste porto possuir apenas dois estados de barra, obteve-se um acordo razoável entre o modelo de previsão e a decisão da Autoridade Marítima relativamente ao estado das barras, verificando-se no entanto discordâncias significativas em circunstâncias de constrangimento com percentagens de acerto um pouco acima dos 50%, para Aveiro e Figueira da Foz, e de apenas 5% para o porto de Viana.

Tendo em conta que os casos de potencial constrangimento de tráfico marítimo são precisamente as situações em que o apoio à decisão é mais premente e onde se reconhece a utilidade do esquema desenvolvido, este desempenho observado nas redes neuronais associadas aos portos de Viana do Castelo, Aveiro e Figueira da Foz mostra que o procedimento de calibração é ainda insatisfatório nestes casos, com alguma margem para aperfeiçoamento. A principal razão desta ineficiência deve-se ao facto do número de ocorrências com limitação de tráfico ser relativamente baixa, especialmente no porto de Viana do Castelo, pondo em causa o procedimento de calibração.

Por outro lado, um estudo mais detalhado das discordâncias mostra que nalguns casos os erros do sistema de previsão face às decisões dos capitães de porto são apenas aparentes. Embora o período em análise não seja suficiente longo nem representativo, não abrangendo o inverno onde as limitações ao tráfico são mais recorrentes, este estudo preliminar evidencia que algumas das discordâncias são curtas e ocorrem durante a noite, onde será pouco provável a emissão de alguma alteração do estado da barra, ou resultam de desfaçamento, seja por antecipação ou por atraso na decisão relativamente ao previsto pela rede.

Aumentar o número de ocorrências associadas a estados de barra condicionada/fechada beneficiará o processo de calibração melhorando o desempenho do esquema de previsão. A avaliação do sistema, de preferência realizada em conjunto com os capitães de porto, deverá distinguir as ocorrências cuja previsão não se encontra conforme à decisão tomada, das ocorrências cujas discordâncias são de algum modo justificáveis.

A metodologia proposta só é sustentável se existir racionalidade nas decisões tomadas. No entanto não é imposto nenhum critério *a priori*. Apenas se assume que o estado da barra depende de variáveis ambientais que influenciam a navegabilidade nas entradas e saídas dos portos. Neste estudo conclui-se que, das variáveis consideradas, a declividade da onda é a que melhor caracteriza esta dependência. Para além de depender da altura da onda, esta variável possui a capacidade de distinguir a ondulação da vaga, devido à sua dependência no comprimento de onda, uma característica relevante na avaliação das condições de navegabilidade de barcos de pequenas dimensões normalmente utilizados pelas frotas de pesca. Mostrou-se que a declividade da onda é indispensável para atingir um grau de concordância razoável, em cada um dos portos onde se implementou a metodologia proposta, e que a inclusão de outras variáveis apenas apresenta um benefício secundário.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho é uma contribuição para o projeto SIMOCean (*System for Integrated Monitoring of the Ocean*), Project PT02\_Aviso5\_0001, parcialmente suportado pelo mecanismo de financiamento da Área Económica Europeia (EEA Grants)

## **Referências**

Almeida, N., Grosso, N., Catarino, N., Deus, R., Lamas, L., Alves, M., Almeida, S., Oliveira, P.B. (2016). SIMOCean: Maritime Open Data and Services Platform for Portuguese Institutions. 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica. 389-392.

Alves, M., Pinto, J.P., Almeida, S., Mota, P., Jorge da Silva, A., Lamas, L., Deus, R., Almeida, N. (2016). Índice do estado do mar nas aproximações aos portos. 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica. 87-90.

Lamas, L., Oliveira, P.B., Pinto, J.P., Almeida, S., Deus, R., J. da Silva, A., Almeida, N. (2017) Fishing áreas characterisation using the SIMOcean platform. Aquatic living Resourch. 30,19

Mota, P., Van Golde, I., Pinto, J. (2014). O sistema de previsão operacional do Instituto Hidrográfico. 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 99-102.

IPMA (2017):  
<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=arome.xml>,  
Instituto Português do Mar e da Atmosfera, sítio consultado em 28 de julho de 2017.