

**Universidade do Algarve**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

**Cartografia da densidade bentónica do Algarve central  
e previsões de cenários**

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Estudos  
Marinhos e Costeiros

Luis Manuel Correia Ferreira Bentes

Faro

2011

NOME: Luis Manuel Correia Ferreira Bentes

DEPARTAMENTO: Faculdade de Ciências e Tecnologias

ORIENTADOR: Prof. Doutor Karim Erzini

Doutor Jorge Gonçalves

DATA: 21 de Março de 2011

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

Cartografia da densidade bentónica do Algarve central e previsões de cenários

JÚRI: Presidente: Tomasz Boski

Vogais: Prof.Doutor Karim Erzini

Doutor Jorge Gonçalves

Doutor Miguel Neves dos Santos

## Agradecimentos

Terminar esta tese foi um processo longo e por vezes penoso, que não teria sido possível acontecer sem a orientação, competência, amizade e compreensão dos meus orientadores, Prof. Doutor Karim Erzini e Doutor Jorge Gonçalves, a quem expresso o meu mais profundo sentimento de gratidão e amizade.

Mas sem os meus fantásticos amigos e colegas também não seria possível realizar este trabalho, o meu obrigado sincero a todos que de alguma forma ou de todas as formas me ajudaram, Pedro Lino, Pedro Monteiro, Rui Coelho, Joaquim Ribeiro, Pedro Veiga, Frederico Oliveira, Cheila Almeida, Camané, Inês Sousa, Mafalda Rangel, Isidoro Costa, David Abecasis, Daniel Machado, Joana Carvalho e Laura leite.

Os meus agradecimentos também vão para a minha família, Marina, António e Alexandre, obviamente que este agradecimento não é suficiente para lhes mostrar o quanto foi importante o seu apoio incondicional em mais esta etapa da minha vida.

Aos meus Pais por tudo! O apoio e carinho que me deram ao longo da minha vida foi sempre inextinguível.

Por fim, se estiveres a ler estes agradecimentos e o teu nome não estiver, as minhas desculpas, porque certamente deveria estar.

## Resumo

Os fundos marinhos do Algarve central são cada vez mais sujeitos a pressões antropológicas. A pesca, a extração de inertes para reabastecimento de praias, os recifes artificiais e aquacultura costeiras são exemplos de actividades que se desenvolvem nesse espaço.

O conhecimento da variação espacial da densidade bentónica é um desafio que se coloca cada vez mais à comunidade científica. Para além do interesse para o conhecimento científico é também valioso instrumento de gestão ambiental. Numa altura em que existe cada vez pressão sobre o ambiente marinho, a gestão sustentada dos espaços, compatibilizando a conservação e as actividades, assente num conhecimento científico, é cada vez mais necessária.

Este estudo, teve como objectivo, a criação de modelos que descrevam espacialmente as densidades de peixes (bentónicos e demersais) e de macroinvertebrados obtidas na área de estudo, os substratos móveis até aos 30 m de profundidade no Algarve Central. E ainda, a elaboração de cenários, nomeadamente na identificação de zonas com densidades mais elevadas, impacte de dragagens e um aumento da temperatura superficial do mar.

Os modelos obtidos são representativos das realidades amostradas. Os resultados indicam a existência de variação sazonal nos locais de amostragem com as maiores densidades a ocorrerem na zona central da área de estudo e também em maiores profundidades. A simulação de uma área de dragagem indica, após o período de impacto inicial que não foi contabilizado, um provável aumento de densidade como consequência do aumento de profundidade na área impactada. A simulação do aumento da temperatura superficial do mar, indica a existência de uma diminuição das densidades bentónicas.

Palavras-Chave: densidade bentónica; Algarve; Kriging; modelos aditivos generalizados.

## Abstract

The central Algarve sea floor is under an increasing anthropological pressure, namely by activities such as fishing, sediment extraction for beach replenishment, artificial reefs and offshore aquaculture.

Knowledge of the spatial variation of benthonic densities is a challenge for the scientific community. In addition to the pure scientific knowledge this information is also essential for coastal management. The increasing pressure on the marine environment requires that a sustainable management of space, including both conservation and exploitation, is based on sound scientific knowledge

The main goal of this study was to create a model that spatially describes the fish (benthonic and demersal) and macro-invertebrate densities observed on the mobile substrate up to a depth of 30m off the central Algarve coast. A secondary goal was to use the model to simulate a dredging event and an increase of sea surface temperature.

The results indicate the existence of a seasonal variation for all sampled locations and that the highest densities occur in the center of the study area and at higher depth. The simulation of a dredging event showed that, after the initial impact period which was not accounted for, it is likely that an increase in densities occurs as a response to the depth increase. The simulation of an increase of the sea surface temperature predicted a decrease of the densities of benthonic species.

**Keywords:** benthonic densities; Algarve; kriging; generalized additive model.

# Índice

1. Introdução .....	1
2. Métodos .....	4
Dados .....	4
Critérios de amostragem.....	9
Cartografia.....	9
Modelação .....	10
Geostatística.....	10
Métodos aditivos generalizados.....	14
Cenários .....	17
I - Determinação de “hotspots” de densidades.....	17
II - Dragagens.....	18
III - Aumento da Temperatura superficial da água do mar .....	19
3. Resultados .....	21
Área de Estudo .....	21
Distribuição espacial da Densidade .....	22
Análise exploratória .....	23
Modelos .....	25
Geoestatístico.....	25
Aditivos Generalizados .....	28
Cenários .....	42
I - Determinação de “hotspots” de densidades.....	42
II - Dragagens.....	46
III - Aumento da Temperatura superficial da água do mar .....	50
4. Discussão .....	55
5. Conclusões .....	62
6. Referências Bibliográficas.....	65
ANEXO .....	1

## 1. Introdução

A caracterização em termos biológicos de grandes extensões geográficas é um dos grandes desafios que se coloca actualmente, considerando que essas grandes extensões, no presente trabalho, são subaquáticas, e por isso menos acessíveis, então esse desafio é consideravelmente maior. De facto, Francis *et al.* (2005) refere que os estudos nestas áreas têm normalmente escalas de trabalho muito limitadas, ficando tal a dever-se principalmente a uma logística de campo complicada e aos elevados custos deste tipo de trabalho, e ainda uma forte apetência que os investigadores individuais têm para se concentrarem em estudos de pequena escala. Para aumentar as áreas abrangidas, é necessário desenvolver métodos que permitam, de um modo preciso e acurado, extrapolar e/ou interpolar, os resultados obtidos dos locais de amostragem escolhidos. Os modelos de previsão espacial permitem ampliar as escalas desses trabalhos (Pittman *et al.*, 2007).

À parte do inerente interesse científico, o conhecimento dos padrões de distribuição espacial de espécies, comunidades e ecossistemas é essencial para uma gestão ambiental robusta (Leathwick *et al.*, 2006). A identificação de padrões de distribuição espacial revela-se de grande utilidade, principalmente porque nos revela, a partir de uma série de pontos de amostragem, como é que as variáveis em estudo se comportam espacialmente, permitindo otimizar o padrão espacial das amostragens e ainda utilizar os resultados obtidos para criação de instrumentos de gestão ambiental costeira mais elaborados, como seja as cartas de sensibilidade e de importância ecológica (Gonçalves *et al.*, 2004, 2007).

Os métodos de previsão das variáveis biológicas permitem elaborar cartografia para as áreas de estudo, no que se refere, por exemplo, à densidade de indivíduos ou aos mais variados índices. Estes métodos, para além da sua utilidade na previsão espacial, são também muito úteis na elaboração de cenários, nomeadamente no que se refere à previsível variação ou tendência das variáveis explicativas dos vários modelos elaborados.

A modelação espacial para prever a diversidade de plantas e animais em ambientes terrestres tem sido utilizada de forma rotineira (Pittman *et al.*, 2007). O trabalho de Lehmann (1998) é um dos principais a realizar a ponte entre o ambiente terrestre e o aquático, modelando a distribuição de macrófitas submersas.

As técnicas utilizadas na modelação espacial têm sido muito variadas, e incluem variadas aproximações, nomeadamente, regressões múltiplas e as suas formas generalizadas (ex. modelos aditivos generalizados (GAM), modelos lineares generalizados), técnicas de classificação, envelopes ambientais (“environmental envelopes”), técnicas de

ordenação, modelos bayesianos (“bayesian approaches”), redes neurológicas e outros métodos que envolvem a aplicação de vários métodos em conjunto (aproximação mista) (Guisan e Zimmermann, 2000), assim como o uso de técnicas geoestatísticas integradas em ambiente de sistemas de informação geográfica (Burrough, 2001).

Devido à componente espacial, o processo de modelação surge normalmente associado a sistemas de informação geográfica, permitindo estes a realização de análises complementares e a ilustração dos modelos obtidos. O surgimento de pacotes de programas informáticos que fazem a integração completa dos dois conceitos (modelação espacial e sistemas de informação geográfica), como por exemplo o pacote GRASP (Lehmann et al., 2002a) veio permitir ainda uma melhor integração destes conceitos. Vários são os trabalhos que utilizam os conceitos de modelação espacial e de sistemas de informação geográfica, tanto em ambiente terrestre (Lehmann et al., 2002b), como em ambiente marinho (Zheng *et al.* 2002; Le Pape *et al.* 2003, Raventos e Macpherson, 2005; Leathwick *et al.* 2006) ou estuarino (Stoner *et al.*, 2001). Outras técnicas também tem sido utilizadas, principalmente na definição de habitats essenciais para peixes, estas utilizam essencialmente sistemas de informação geográfica e detecção remota não recorrendo a nenhuma das técnicas de modelação anunciadas. Este é o caso do trabalho de Valavanis et al. (2004) que aplica esta técnica no Mediterrâneo em lulas. Ainda no âmbito da definição de habitats essenciais para peixes, integrado no suporte da nova política comum de pescas europeia, são utilizadas as técnicas de modelação GAM, complementadas por interpretação em sistemas de informação geográfica, para a realização dos referidos mapas (EnviEFH). Estas ferramentas têm sido indicadas como ferramentas de gestão costeira, tanto ao nível de espécies como de comunidades (Ferrier *et al.*, 2002a,b)

Em Portugal os trabalhos de modelação espacial de espécies ou de índices, utilizando sistemas de informação geográfica ou não, são reduzidos, destaca-se o trabalho de Caeiro *et al.* (2005) sobre a criação de um índice para biótopos bentónicos no estuário do Sado, o de Sousa et al. (2005, 2006) sobre o padrão de distribuição de espécies marinhas em Portugal continental, e ainda o estudo sobre a distribuição de peixes chatos no estuário do rio Tejo realizado por Cabral *et al.* (2007 *in* Zuur *et al.*, 2007),

O presente trabalho surge de uma necessidade, a realização de uma ponte entre a biologia e a gestão costeira, ou seja, a passagem de conceitos de biologia “clássica” para um formato que possa ser considerado um instrumento de gestão sem nunca perder a componente biológica como linha orientadora. Assim, os objectivos deste trabalho podem ser divididos em dois grandes grupos.

O primeiro, consiste na criação de modelos que melhor descrevam espacialmente as densidades de peixes (bentónicos e demersais) e de macroinvertebrados obtidas na área de estudo, os substratos móveis até aos 30 m de profundidade no Algarve Central, nomeadamente através de técnicas de geoestatística, de modelos generalizados aditivos e da sua representação espacial. Pretende-se passar de locais de amostragem para superfícies de previsão da distribuição espacial das densidades.

Em segundo lugar, a elaboração de cenários onde será ilustrada a aplicação de cada uma das técnicas de modo a dar resposta a problemas específicos.

O primeiro cenário elaborado prende-se com a necessidade de fornecer localizações específicas e seguras para o estabelecimento de zonas marinhas com algum estatuto de conservação, assim pretende-se demonstrar uma técnica que possa contribuir para um dos critérios para essa classificação através da determinação de zonas de densidades elevadas (“hotspots”).

O segundo cenário pretende criar uma ferramenta que possa demonstrar a possível tendência evolutiva nas densidades da fauna bentónica e demersal se ocorrer uma situação de dragagem na zona de estudo. A realização de dragagens é cada vez mais uma situação actual, tanto para reabastecimento de praias como para exploração comercial, pelo que cada vez mais é necessário fornecer respostas sobre possíveis impactos.

O terceiro e último cenário pretende simular um aumento da temperatura superficial da água do mar. Numa altura em que existem cada vez mais estudos no domínio das alterações climáticas e que o aumento da temperatura da água do mar é considerado um dos seus maiores efeitos, este cenário pretende identificar a tendência evolutiva nas densidades da fauna bentónica e demersal actuais quando sujeitas a esse aumento.

## 2. Métodos

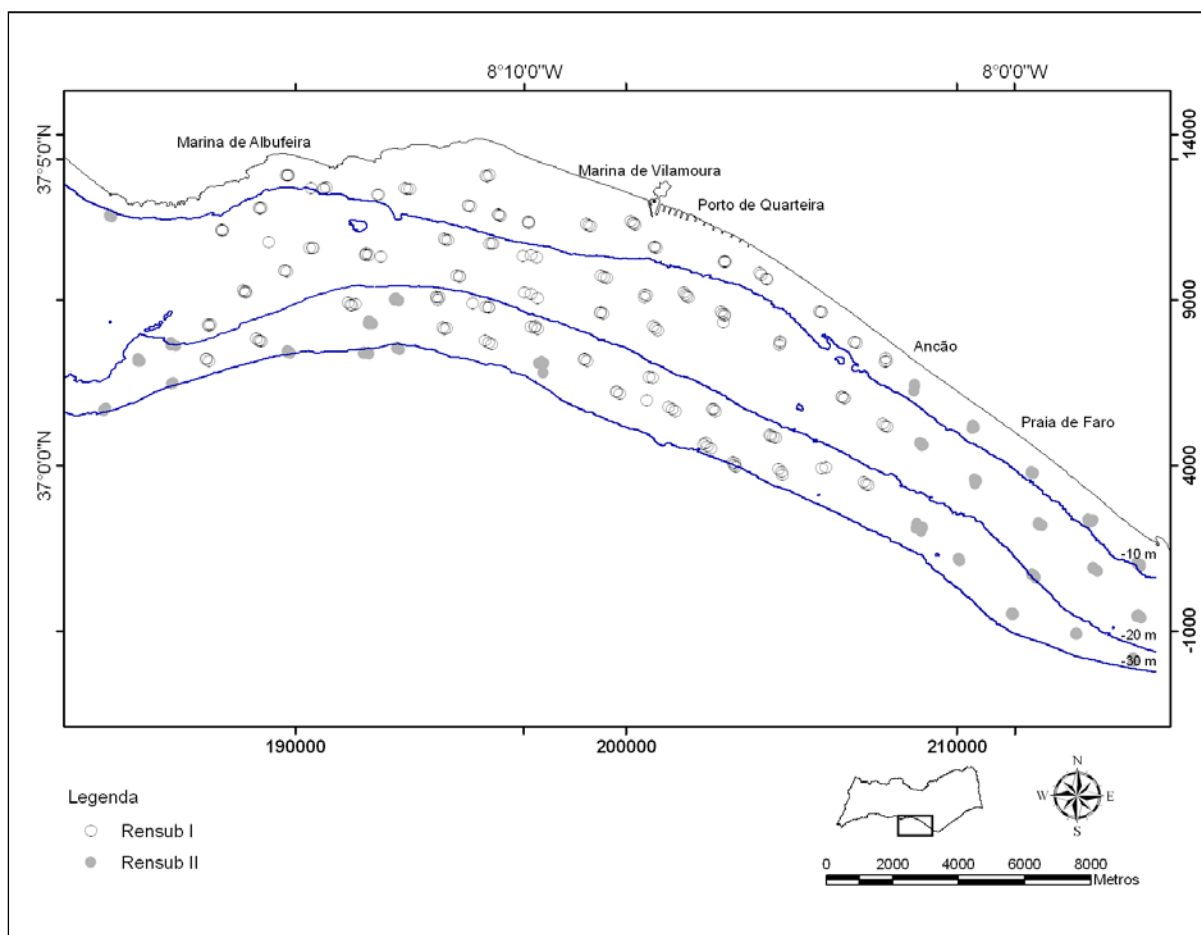
### Dados

Os dados utilizados para a realização deste trabalho dividem-se em dois grupos, os dados biológicos e os dados ambientais e geológicos.

#### Dados Biológicos

Os dados biológicos utilizados neste trabalho provém dos projectos de investigação científica realizados no âmbito da cartografia e caracterização das biocenoses marinhas da Reserva Ecológica Nacional Submarina (dos 0 aos 30 m de profundidade), nomeadamente dos projectos Rensub I e II (Figura 2.1)(Gonçalves *et al.*, 2004, 2007).

Para a obtenção destes dados, provenientes de substratos móveis, optou-se por utilizar uma técnica de água pouco profunda, principalmente utilizada na Ria Formosa, mas que demonstrou ser perfeitamente aplicável até à profundidade máxima em estudo (30 metros) desde que utilizado por pessoas com muita experiência. Assim, o arrasto de vara foi a técnica utilizada, visto que tem uma grande eficácia em amostragem de comunidades bentónicas em substratos móveis (Kaiser *et al.*, 2001). É das técnicas utilizadas para amostrar nestes habitats que possibilita uma recuperação mais rápida das comunidades afectadas, sendo que dentro dos substratos móveis as areias são as que tem recuperações mais rápidas (Collie *et al.*, 2000). Esta característica é de extrema importância dado o carácter sazonal das amostragens.



**Figura 2.1 – Localização dos arrastos de vara na área de estudo, realizados no âmbito dos projectos Rensub I e II.**

O arrasto de vara foi utilizado nas zonas de areia, tanto a classificada previamente na carta de substratos como fina/média ou como grosseira. Em termos de características físicas, apresenta uma abertura e altura de boca de rede de 2,65 e 0,65 metros, respectivamente, e o saco possui uma malhagem de 9 milímetros (Figura 2.2).

Foram realizados arrastos com um comprimento de 250 metros, a distância foi aferida com um equipamento de GPS, em cada ponto de amostragem e em cada estação do ano. O padrão de amostragem seguiu uma distribuição por estratos de profundidade, 0 a 10 metros, 10 a 20m e 20 a 30 metros, sendo o número de arrastos proporcional à área ocupada por cada um dos estratos. Entre pontos de amostragem foi estabelecida uma distância de 1500 metros, tendo por base uma correcta distribuição dos locais de amostragem em relação à área total e o esforço de amostragem.



**Figura 2.2 - Aspecto geral do arrasto de vara utilizado para a obtenção dos dados biológicos**

Foram realizados um total de 298 arrastos repartidos entre o projecto Rensub I (190) e Rensub II (108). O esforço de amostragem foi idêntico nas estações do ano excepto no Outono da primeira fase em que só foi possível realizar 22 arrastos (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1 – Número de arrastos de vara realizados por projecto de investigação e estação do ano.**

Estação do ano	Projecto Rensub		
	I	II	Total
Inverno	56	27	83
Outono	22	27	49
Primavera	56	27	83
Verão	56	27	83
Total	190	108	298

O tratamento das amostras no campo e no laboratório seguiu os procedimentos descritos em Gonçalves et al. (2004, 2007). Após o período de arrasto o conteúdo da rede foi recolhido e acondicionado em sacos devidamente etiquetados para, em laboratório, se proceder à identificação taxonómica, contagem e pesagem dos organismos.

Os exemplares foram separados em dois grandes grupos, peixes e macrofauna bentónica, sendo identificados até ao mais baixo taxa possível a nível macroscópico, segundo o procedimento efectuado por Gonçalves et al. (2004, 2007).

Para o cálculo das densidades foram contabilizados todos os organismos presentes nas amostras para cada local, sendo os dados standardizados para o comprimento real de cada arrasto e ajustados para uma área padrão de 1000 metros quadrados. Foi obtido para

cada local, assim, um valor de densidade de todos os organismos contabilizados numa amostra.

## Dados Ambientais

Os dados de temperatura superficial da água do mar utilizados neste trabalho, resultaram das leituras efectuadas durante as saídas de mar realizadas no âmbito dos projectos de investigação que deram origem aos dados biológicos, já descritos anteriormente. Estas leituras foram realizadas com uma sonda multiparâmetros, marca “YSI”, modelo 85 com resolução de 0,1 °C.

Em algumas das saídas de mar, devido a uma série de problemas, como avarias de equipamento, indisponibilidade do mesmo e saídas simultâneas, não foi possível obter os valores de temperatura superficial do mar. Nestas situações, e de modo completar o mais possível as séries de dados disponíveis, optou-se por utilizar dados obtidos no mesmo dia em outros locais, o mais perto possível do local de amostragem, ou por obter esses valores através de métodos de detecção remota. Estes dados de detecção remota de valores de temperatura superficial da água foram obtidos no endereço de internet do PO.DAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) mantido pelo Jet Propulsion Laboratory da NASA. A aplicação utilizada foi a POET (<http://poet.jpl.nasa.gov/>), sendo os dados derivados do sistema MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) dos satélites NASA Aqua e a resolução utilizada foi de 4 quilómetros para dados diários nas localizações pretendidas. A informação pretendida foi descarregada em formato ASCII, e depois transformada de modo a poder ser utilizada tanto em análises estatísticas como em espaciais.

Foi também utilizada a detecção remota, usando o procedimento descrito no parágrafo anterior, para a obtenção de mapas da área de estudo da temperatura média da água superficial do mar. Os valores obtidos, com malha de 4 km, foram depois extrapolados para toda a área de estudo utilizando a técnica de “Inversed Distance Weighed” (IDW).

Os dados de salinidade e de oxigénio foram também obtidos através da sonda multiparâmetros, simultaneamente com os registos de temperatura, sendo que a resolução de leitura para a salinidade foi de 0,1 ppt e para o oxigénio 0,01 mg/L.

## Dados sobre os Substratos

Os sedimentos da zona de estudo foram obtidos através dos supracitados projectos Rensub I e II. Estes projectos tiveram como objectivo realizar o mapeamento das biocenoses marinhas até aos 30 metros de profundidade, utilizando para tal camadas dos sedimentos marinhos até essa profundidade. A cartografia dos sedimentos marinhos foi fornecida pela extinta Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Algarve (DRAOTA) e teve como base imagens resultantes de uma sonda de varrimento lateral (“side-scan sonar”). Estas imagens foram interpretadas de modo a se realizar a separação dos diferentes tipos de sedimentos e confirmadas por intermédio de sondagens sistemáticas realizadas em mergulho autónomo pela equipa de geólogos da DRAOTA e por *trenó* de vídeo subaquático pelo grupo de Investigação Pesqueira Costeira do Centro de Ciências do Mar da Universidade do Algarve (CFRG). Os formatos disponibilizados foram em papel e digital, sendo que no primeiro caso procedeu-se à digitalização de cada tipo de substrato para formato *shapefile* (ESRI) e no segundo caso foi realizada uma transformação do formato *autocad* para formato *shapefile* (ESRI). O formato final utilizado é compatível com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado no presente trabalho, ArcGis 9.1 (ESRI).

## Dados de Batimetria

Os dados de batimetria utilizados foram provenientes dos projectos já mencionados, nomeadamente o Rensub I e II, consistindo em 54867 sondas realizadas em toda a área de estudo, referenciadas ao zero hidrográfico, espaçadas cerca de 20 metros e em fiadas perpendiculares à costa intervaladas entre si 100 metros. De modo a tornar esses dados utilizáveis para o presente trabalho foi necessário proceder ao cálculo das isobatimétricas pelo que, devido à proximidade das sondas, se tenha utilizado o método “Inverse distance weighted” para o seu cálculo, sendo o resultado final compatível com o sistema de informação geográfica utilizado.

## Distância à costa

A distância à costa foi calculada em ambiente SIG, através da criação de camadas distanciadas entre elas 500 metros até à distância máxima de 7000 metros, tendo por base

a linha de costa da área de estudo. Posteriormente foi efectuado o mapeamento dos arrastos de vara e o valor desta variável integrada em cada um deles.

## **Critérios de amostragem**

### **Quadrícula**

A determinação do tamanho da quadrícula a utilizar nas análises realizadas ao longo deste trabalho é um passo fundamental. De facto, a sua dimensão terá que reflectir a escala a que os dados foram obtidos, tanto biológicos como ambientais, e ainda a escala de análise e representação dos resultados obtidos. Para a sua determinação utilizou-se a escala espacial (distância de arrasto e espaço entre locais de amostragem) a que os dados biológicos foram obtidos, e uma relação empírica entre a área amostrada e zona circundante, e os erros inerentes ao trabalho de campo, nomeadamente no que se refere ao sistema de GPS (“Global Position System”, sistema de posicionamento global com recurso a satélites), e ainda às pequenas variações de procedimento pelas equipas que efectuaram às amostragens. Assim, usou-se uma solução de compromisso entre os vários projectos, optando-se por uma quadrícula de 250 metros de lado (0,0625 km<sup>2</sup>).

## **Cartografia**

A cartografia elaborada no âmbito desta tese e ilustradas neste documento tem como características:

Projecção: Gauss

Sistema de Coordenadas: Hayford-Gauss Militares

Elipsóide: International

Datum: Lisboa (Castelo de S. Jorge)

A utilização deste tipo de coordenadas teve como objectivo possibilitar uma melhor compreensão das mesmas, visto que ao utilizar metros em vez de graus torna mais intuitivo o processo de modelação espacial. Para tal, e dado que as coordenadas utilizadas no campo através do sistema GPS se encontravam no sistema WGS-84, foi necessário converter e projectar as mesmas para o sistema Hayford-Gauss Militares, Datum Lisboa, usando para tal o sistema de conversão de coordenadas presente no ArcGis 9.1 (ESRI).

De modo a facilitar um melhor entendimento da cartografia, as cartografias apresentadas tem as malhagens do sistema de coordenadas Hayford-Gauss Militares e WGS-84.

## **Modelação**

Neste trabalho todos os dados biológicos encontram-se georreferenciados, assim, em princípio, é possível utilizar a primeira lei da geografia que refere que “tudo está relacionado com tudo, mas as mais próximas estão mais relacionadas do que as distantes” (Tobler, 1970). Para analisar a correlação espacial da variável resposta foi calculado o índice de Moran implementado na extensão “Spatial Analyst” (ArcGIS 8.3). Segundo Pittman et. al. (2007), o valor deste índice varia entre -1 e 1, sendo que quando o valor é elevado existe autocorrelação, negativa e positiva, respectivamente, valores de 0 indicam a inexistência de autocorrelação

A utilização deste índice reveste-se de particular importância, na análise exploratória, porque vai servir de ferramenta de diagnóstico das variáveis e ainda de apoio à decisão do métodos estatísticos a utilizar.

## **Geostatística**

Na realização dos métodos geoestatísticos foram utilizados todos os arrastos realizados ao longo do período de amostragem de modo a que os dados obtidos reflectissem a variabilidade de pequena escala que é obtida para cada lugar, visto que cada local foi amostrado com uma periodicidade sazonal.

Os métodos clássicos de estatística não levam em linha de conta a distribuição espacial das variáveis, deste modo, a utilização da geoestatística é de grande importância, visto que permite determinar as correlações espaciais dos dados e deste modo prever valores em locais não amostrados. As técnicas de geoestatística utilizadas neste trabalho são as normalmente denominadas de “Kriging”, determinando esta técnica o valor numa localização não amostrada,  $Z(x)$ , através da soma de três factores, a tendência determinística,  $m(x)$ , a variação de autocorrelação,  $\varepsilon'(x)$  e um factor constante de correcção,  $\varepsilon''(x)$ ; deste modo a equação geral de *kriging* é a seguinte:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon''(x)$$

A técnica de “kriging” utilizada neste trabalho, “ordinary kriging”, é a mais utilizada neste tipo de estudos e assume que a média da amostra é constante e desconhecida, a autocorrelação é a tendência das amostras mais perto umas das outras serem mais semelhantes do que as que estão mais longe e que é determinada através do ajuste dos semi-variogramas que são calculados através da seguinte fórmula:

$$\gamma(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_j))$$

A metodologia utilizada compreendeu a realização de cinco passos fundamentais a seguir descritos.

### Análise Espacial Exploratória

A análise espacial exploratória tem como objectivo primário uma familiarização com os dados espacialmente distribuídos, permitindo assim uma melhor escolha dos parâmetros a utilizar no processo de modelização geoestatística. Nesta análise é identificada a distribuição dos dados, e se necessário qual a transformação a aplicar, de modo a que a distribuição dos dados seja normal, a existência de valores extremos, a existência de tendências nos dados e a identificação da variabilidade de pequena escala.

#### Valores extremos

A existência de valores extremos nos dados (“outliers”) pode influenciar a precisão do modelo de previsão de probabilidades obtido, deste modo é fundamental a identificação destes valores. A remoção ou modificação de valores extremos em dados de base é um processo que envolve uma justificação adequada e que para tal muito contribui o facto de toda a equipa ter estado presente nos processos de amostragem, tendo para tal a sensibilidade necessária para esse procedimento. No presente trabalho, a remoção destes pontos resultou na análise que o seu benefício poderia trazer para a diminuição do erro de estimação.

#### Distribuição

A distribuição normal dos dados permite uma melhor interpolação, visto que deste modo é possível os erros serem também normalmente distribuídos, e levar em conta a

correlação entre a variabilidade local e a média local. De um modo geral, a transformação utilizada nos dados originais foi a log ou a box-cox [ $Y(s) = (Z(s)^\lambda - 1)/\lambda$ ], que no caso especial do parâmetro ( $\lambda$ ) ter o valor zero, fica igual à transformação em log, visto que nesta transformação ajusta-se o parâmetro  $\lambda$ , entre 0 e 1, de modo a que distribuição seja normal ( $Y(s)$ ).

#### Variabilidade de pequena escala

A capacidade de previsão do modelo poderá ser muito influenciada pela variabilidade de pequena escala. Essa variabilidade, mais pequena do que o intervalo espacial de amostragem, poderá ser reduzida. Se o semi-variograma não começar em zero, é sinal que existe o chamado “nugget effect”. As fontes deste efeito podem ser os possíveis erros decorrentes de todo o processo de amostragem ou da pequena variabilidade de pequena escala, isto é as diferenças esperadas para duas amostras no mesmo local. No presente trabalho foram várias as opções consideradas para reduzir este fenómeno: a alteração da escala de amostragem para malhas de 1 km ou 2 km, a utilização de valores médios anuais e a incorporação do valor de variabilidade de pequena escala no próprio modelo. A alteração da escala de amostragem não foi utilizada visto que a modelação à escala de 1 ou 2 km de malha iria desvirtuar o processo de mapeamento devido à grande perda de precisão, sendo então usados os dois outros processos de redução de variabilidade, quer em conjunto quer em separado.

#### Modelação da Autocorrelação – Semi-variogramas

A elaboração do semi-variograma é a parte fundamental do processo de modelação geoestatística, visto que se pretende que este represente do modo mais acurado possível as relações existentes nas várias variáveis em análise neste estudo. A autocorrelação entre as amostras pode ser verificada através do aumento da semivariância com o aumento da distância entre pontos. São vários os parâmetros que caracterizam um semi-variograma: o alcance (“range”) é a distância a partir da qual a semivariância fica constante e por isso mede o grau de influência entre amostras, o “sill” é o valor da semivariância quando o “range” é atingido, e a relação do “sill” com o “nugget” é uma medida indicadora da autocorrelação existente nos dados, dado que o “nugget” é uma medida da microvariância.

No processo de modelação, foi também investigada se a correlação entre amostras se deve somente à distância entre amostras ou se também é influenciada pela direcção, devendo nesse caso o modelo incorporar uma medida anisotrópica caracterizada por uma

direcção, e um comprimento maior e menor de uma elipse de procura de amostras. No presente estudo, a análise exploratória dos dados indica uma clara separação entre estratos de profundidade, nomeadamente 0-10m, 10-20m e 20-30m, deste modo, pretendeu-se que a componente anisotrópica isolasse o mais possível esses mesmos estratos.

### Seleccção do Modelo Geoestatístico

Após as fases precedentes, a análise exploratória dos dados e a modelação do semi-variograma, chega-se à fase de escolha do modelo geoestatístico. Tipicamente, o processo de modelação é um processo iterativo onde se vão experimentando várias soluções para as variáveis em questão, com base nos conhecimentos adquiridos nos dois passos anteriores. Esse processo de modelação assenta em alguns princípios de base que foram seguidos ao longo deste trabalho, nomeadamente a integração do conhecimento resultante de outras técnicas de análise, o conhecimento prático das várias saídas de mar (amostragens) que deram origem a estes dados, a utilização do modelo mais simples para os dados analisados e que demonstrasse ser o mais adaptado à estrutura espacial dos variáveis.

Os critérios de selecção dos modelos obtidos foram, por ordem decrescente de importância, o RMS (“Root mean square error”) o mais baixo possível, a média de previsão do erro o mais perto de “0” possível, e a raiz quadrada do erro estandardizada, o mais perto de “1” possível. Foram sempre elaborados pelos menos três modelos de um modo independente entre eles, tendo-se depois escolhido o melhor, segundo os critérios atrás descritos. Neste processo de selecção, cada modelo obtido era examinado segundo a técnica do ponto de amostragem fictício, e assim verificados os parâmetros de ajuste. No caso destes não satisfizessem, procedia-se novamente ao processo de ajustar os parâmetros do modelo para atingir os critérios estabelecidos.

### Superfícies de previsão e erro padrão

A realização e aferição do modelo permitem a elaboração das superfícies de previsão da variável estudada e para cada uma das localizações da área de estudo. Sendo este método geoestatístico uma técnica estocástica, assente numa teoria estatística, é também possível obter uma superfície do erro padrão das predições, e deste modo ter igualmente uma ferramenta visual da “precisão” do modelo para cada local de toda a superfície em estudo.

## Visualizações

A visualização das superfícies obtidas será feita, quer através das figuras impressas no presente trabalho, quer, e principalmente, em suporte de informação geográfica, onde poderão ser combinadas com todo o tipo de camadas disponíveis, e com isso potenciar ainda mais a interpretação dos resultados obtidos através da modelação.

### Métodos aditivos generalizados

Os Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) permitem analisar as relações existentes entre factores ambientais, geográficos e operacionais e as variáveis em estudo neste trabalho. Estes modelos consistem em generalizações não-paramétricas de técnicas de regressão lineares múltiplas, sendo menos restritivos quanto à distribuição de probabilidades dos dados (Hastie e Tibshirani, 1990).

A principal diferença entre os modelos lineares e os GAMs reside na substituição da função linear pela função suavizadora no modelo (Bigelow *et al.*, 1999). Os efeitos não lineares do modelo foram ajustados por funções suavizadoras “Spline”, usando o pacote estatístico S-Plus (Venables e Ripley, 1999). Esta função, que calcula o valor cúbico das variáveis, minimiza os resíduos do somatório de quadrados de modo a obter o melhor ajuste. É possível alterar o efeito suavizador através da introdução do parâmetro  $df$  (graus de liberdade), podendo deste modo aumentar o valor deste e obter uma função mais ajustada à variação das variáveis que se pretender modelar.

A fórmula geral do GAM utilizada é expressa da seguinte forma:

$$[\text{Variável em Estudo}] = a + s(x_1) + s(x_i, x_j) \dots + e$$

onde “a” é uma constante,  $s$  é o efeito da função suavizadora (*spline*) para a variável independente  $x_1$ ,  $s(x_i, x_j)$  é o aditivo da função suavizadora para duas variáveis independentes, e “e” é o erro aleatório da função.

O distribuição utilizada foi a de Poisson por ser o que melhor se ajustava aos dados e sendo também a mais indicada para estudos em que os dados são de abundâncias (Raventos e Macpherson, 2005; Zuur *et al.*, 2007), e a função de ligação utilizada foi a logística.

A escolha das variáveis foi efectuada através do pseudo  $r^2$ , calculado como 1 menos a razão entre a variância dos resíduos e a variância total (Swartzman *et al.*, 1992), e principalmente através do “Akaike information criterion” (AIC), definido para um modelo aditivo como (Zuur *et al.*, 2007):

$$\text{AIC} = -2\log(\text{Likelihood}) + 2df$$

em que  $df$  são os graus de liberdade do número total de parâmetros do modelo.

O método de ajuste do modelo foi através de *stepGam*, que consiste na introdução passo a passo de cada variável explicativa, sendo a contribuição de cada uma para o modelo final posteriormente analisada em termos de AIC.

A selecção do modelo final foi efectuada através da comparação do modelo final com todas as variáveis e um modelo idêntico menos a variável que menos contribuía para esse modelo, em termos de AIC. Essa comparação foi efectuada através de uma anova verificando-se o valor de  $p$ , e a variável era excluída se os dois modelos em comparação não apresentassem diferenças significativas (Zuur *et al.*, 2007). Este processo foi efectuado até ter um modelo que apresentasse somente variáveis significativas e a sua remoção implicaria diferenças significativas entre os modelos.

A estimativa do erro de previsão foi efectuada com recurso à técnica de *bootstrap*. Nesta técnica de reamostragem optou-se por estimar o erro dos coeficientes através da realização de 1000 bootstraps do modelo definitivo. As previsões geradas por esta técnica são aplicadas à amostra e usadas para estimar o erro da previsão. O intervalo de confiança de 95% foi calculado com base no método do percentil (Clarke *et al.*, 2003).

As equações resultantes de um processo de modelação GAM não podem ser facilmente introduzidas em sistemas de informação geográfica (Koubbi *et al.*, 2006), assim e também para se mapear os locais não amostrados, optou-se por usar a metodologia descrita por Lehman (1998).

Na elaboração das superfícies de previsão das variáveis em estudo optou-se por criar uma malha de pseudo-amostragem em toda a área de estudo, estando estes pontos espaçados 250 metros entre si.

Em cada um dos cerca de 3250 pseudo pontos de amostragem obtidos foi estimado e introduzido o valor de cada um dos diferentes factores em estudo e que entraram na elaboração dos diferentes modelos. Assim, cada ponto de amostragem, mais tarde transformados em quadrículas de 250 por 250 metros, foi caracterizado com todas as variáveis explicativas e posteriormente utilizados na elaboração da previsão dos modelos GAM através do programa S-Plus 6.1 (Insightful Corporation, 2002).

A malha assim obtida foi depois extrapolada por intermédio de um método directo, a distância inversa ponderada (IWD), assumindo-se que a variação do factor em estudo (Densidade) é linear a estas distâncias. A ponderação de cada local foi feita através dos oito locais de pseudo amostragem imediatamente adjacentes ao ponto estimado.

## Variáveis explicativas

Neste tipo de abordagem é necessário a existência à partida de um número elevado de variáveis. Com o objectivo de proceder à sistematização das variáveis a utilizar neste processo de modelação, procedeu-se à sua separação em função das suas características.

### Associadas às características do local

Estas variáveis estão intimamente associadas ao local de amostragem não apresentando variações, pelo que se podem considerar imutáveis. O substrato foi considerado como variável fixa dado que só será alterado por condições extremas, estando o seu ponto de equilíbrio estimado ocorrer aos 7,5 m de profundidade e no máximo até aos 15 metros, ou por alteração humana do substrato (dragagens), no entanto para a aplicabilidade deste modelo optou-se por se fixar esta variável. Variáveis consideradas:

- Profundidade ao zero hidrográfico;
- Latitude;
- Longitude;
- Substrato;
- Distância à costa.

A variável substrato é composta por várias categorias: rocha, rocha sub-aflorante, areia grosseira, areia média/fina, cascalho e vasa.

### Associadas ao processo de amostragem

As variáveis consideradas associadas ao processo de amostragem mais importantes foram as a seguir descritas:

- Estação do ano;
- Mês;

### Associadas às características ambientais

A obtenção de variáveis ambientais pode ser de vital importância para a explicação das densidades obtidas, contudo o equipamento utilizado neste trabalho (YSI-85) esteve sujeito a intensa utilização pelo que em alguns locais amostrados não foi possível a sua recolha, limitando deste modo a sua utilização. As variáveis consideradas no presente trabalho foram:

- Oxigénio (percentagem de saturação e valor absoluto);
- Temperatura superficial da água do mar;

- Salinidade;

## **Cenários**

### **I - Determinação de “hotspots” de densidades**

A determinação de “hotspots”, locais onde as densidades são muito superiores à média, permite identificar locais que reúnem características únicas. O conhecimento desses locais na costa Algarvia é uma mais-valia para a elaboração de planos de gestão da orla costeira que queiram ter uma perspectiva conservacionista, principalmente no que se refere à implementação de medidas de gestão que tenham em consideração os princípios de abordagem “precaucionista” e de desenvolvimento sustentável.

Para a sua determinação optou-se por adaptar uma metodologia baseada nos trabalhos de Welsh *et al.* (1996), Barry e Welsh (2002) e por Koubbi *et al.* (2006). Nestes trabalhos pretendeu-se modelar a existência de espécies raras ou a existência de locais de amostragem com valores nulos. Assim, estes autores optaram por modelar primeiro a ausência ou presença de uma determinada espécie e depois modelaram a sua abundância, a multiplicação destes dois valores resulta na previsão de um valor de abundância que tem em conta a probabilidade de presença ou ausência.

No presente trabalho, procedeu-se à determinação do valor médio de densidade, e a partir deste, os dados foram transformados em presença/ausência, sendo a presença definida como os valores acima da média e a ausência os valores abaixo da média. Posteriormente procedeu-se à modelação das presenças e ausências, usando para tal uma técnica de *Kriging*, a “*Indicator*”, obtendo-se uma probabilidade da existência de presenças/ausências. Os valores obtidos foram depois multiplicados pela previsão de abundância para cada local, utilizando a ferramenta “*Raster Calculator*” do módulo “*Spatial Analyst*” do ArcGis 9.0, e deste modo resultou numa previsão de valores de densidade que tem em linha de conta a probabilidade destes serem superiores à média aritmética global das densidades obtidas em todo o estudo. Os valores mais elevados assim obtidos representam zonas consideradas “hotspots” de abundância.

## II - Dragagens

A elaboração de um cenário de dragagens na zona de estudo pressupõe a realização de uma série de passos.

Elaborou-se a batimetria de toda a área de estudo com base no levantamento hidrográfico realizado pela DRAOTA<sup>1</sup>. Foram utilizadas cerca de 55000 sondas perpendiculares à costa intervaladas em cerca de 20 metros e com fiadas espaçadas de 100 metros, para servir de base à elaboração deste cenário. Foram delimitadas duas áreas hipotéticas para a realização dessas dragagens; uma localizada na zona mais a oeste e de maiores dimensões (568 hectares), e uma outra de dimensões mais reduzidas (199 hectares) na parte este da zona de estudo. Estas duas áreas pretendem simular as duas opções que actualmente se colocam em termos de zona costeira algarvia para a realização de dragagens, para realimentação da orla costeira e para exploração comercial de inertes.

Para cada área simulada foram seleccionadas as sondas de profundidade correspondentes, em ambiente SIG, e a cada uma delas foi retirada a profundidade de 2 metros correspondentes à diferença de profundidade observada após dragagem real por elementos da equipa de investigação do projecto RenSub I e ainda por confirmação pessoal a bordo de uma draga na costa do Algarve. Obteve-se assim uma nova batimetria da área de estudo, desta vez incorporando os dois cenários de dragagem que foi incorporada nos pontos de pseudo amostragem utilizados anteriormente, substituindo os já existentes.

Para a elaboração dos cenários procedeu-se à utilização do modelo GAM obtido previamente tendo o mesmo sido utilizado para o novo cálculo das densidades, sendo tudo mantido igual ao seu cálculo prévio, excepto a utilização do novo mapa de profundidades.

O mesmo procedimento foi realizado escolhendo meses específicos do ano, nomeadamente o mês de Fevereiro, visto que era este que mais influenciava negativamente as densidades e o mês de Julho pela razão oposta, pretendendo analisar o facto de as dragagens puderem ser realizadas em diferentes épocas do ano e deste modo potenciar ainda mais esta simulação enquanto instrumento de gestão costeira.

A quantificação do efeito dragagem foi realizada em ambiente SIG, com o módulo “Spatial Analyst” através da ferramenta “raster calculator”. Os cálculos foram efectuados para cada quadrícula de 64 metros, correspondendo à variação da densidade após a realização da dragagem.

---

<sup>1</sup> Antiga Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Algarve

### III - Aumento da Temperatura superficial da água do mar

A elaboração de um cenário de aumento da temperatura superficial do mar e a sua influência no padrão de distribuição de densidade faunística (bentónica e demersal) implica a realização de uma situação de referência, sendo ainda necessário que a mesma se encontre dentro dos limites da variável temperatura, para os quais o modelo GAM foi estimado.

A obtenção de dados históricos de temperatura foi realizada com auxílio bibliográfico nomeadamente através de dados do Instituto de Meteorologia (2004), no entanto, os dados disponibilizados não permitem uma integração em ambiente SIG, fundamental na elaboração do cenário, e assim foram utilizados somente para a confirmação dos dados de temperatura obtidos através de satélite, tal como descrito anteriormente.

Os dados de temperatura de satélite foram retirados em formato texto (ASCII), sendo referentes às médias mensais dos anos 2000 a 2005, com uma quadrícula de 4 km. A elaboração final do mapa de temperaturas médias para o período 2000 a 2005 implicou a realização de um valor médio anual por quadrícula utilizando todos os valores disponíveis. A interpolação, para uma melhor definição (quadrícula de 1x1 km), foi efectuada através da técnica IDW.

A determinação da quantificação do aumento de temperatura, de modo a tornar o cenário o mais credível possível, foi efectuada com base no trabalho de Santos *et al.* (2001), que indica que a temperatura média da água na Praia da Rocha aumentou anualmente, para o período entre 1961-90, cerca de 0,01 °C por ano, sendo no entanto o aumento muito mais importante nos meses frios (Dezembro, 0,045 °C/ano) do que nos meses mais quentes, em que chegou a haver mesmo decréscimo (Maio, -0,04 °C/ano). Contudo, não apresenta projecção de valores para a costa portuguesa indicando que a temperatura da água está relacionada com a temperatura do ar e que para esta a projecção é de um aumento de 0,039 °C/ano até 2080-2100. Refere igualmente a existência de alterações no regime de *upwelling* devido à modificação do padrão do vento, facto este que irá certamente condicionar a variável temperatura da água do mar. Assim, devido à inexistência de projecção da temperatura da água do mar para 2080-2100 em Portugal continental, à utilização de séries de dados pouco recentes (1961-1990) e pelo facto de, apesar do que foi referido, os valores de uma projecção grosseira (0,045 °C/ano x 100 anos) indicarem ser concordantes com os valores projectados para a costa britânica pelo UK Climate Impacts Programme, cerca de +4,5 °C nos próximos 80 anos, optou-se por

utilizar o valor de referência de 4,5 °C para o aumento da temperatura da água na costa do Algarve no período 2080-2100.

O modelo GAM obtido foi reformulado de modo a incorporar a variável temperatura e previu-se as densidades para a área de estudo com as temperaturas médias da água do mar no período 2000-2005 e também para o acréscimo de temperatura calculado. As superfícies finais foram estimadas através da técnica IDW.

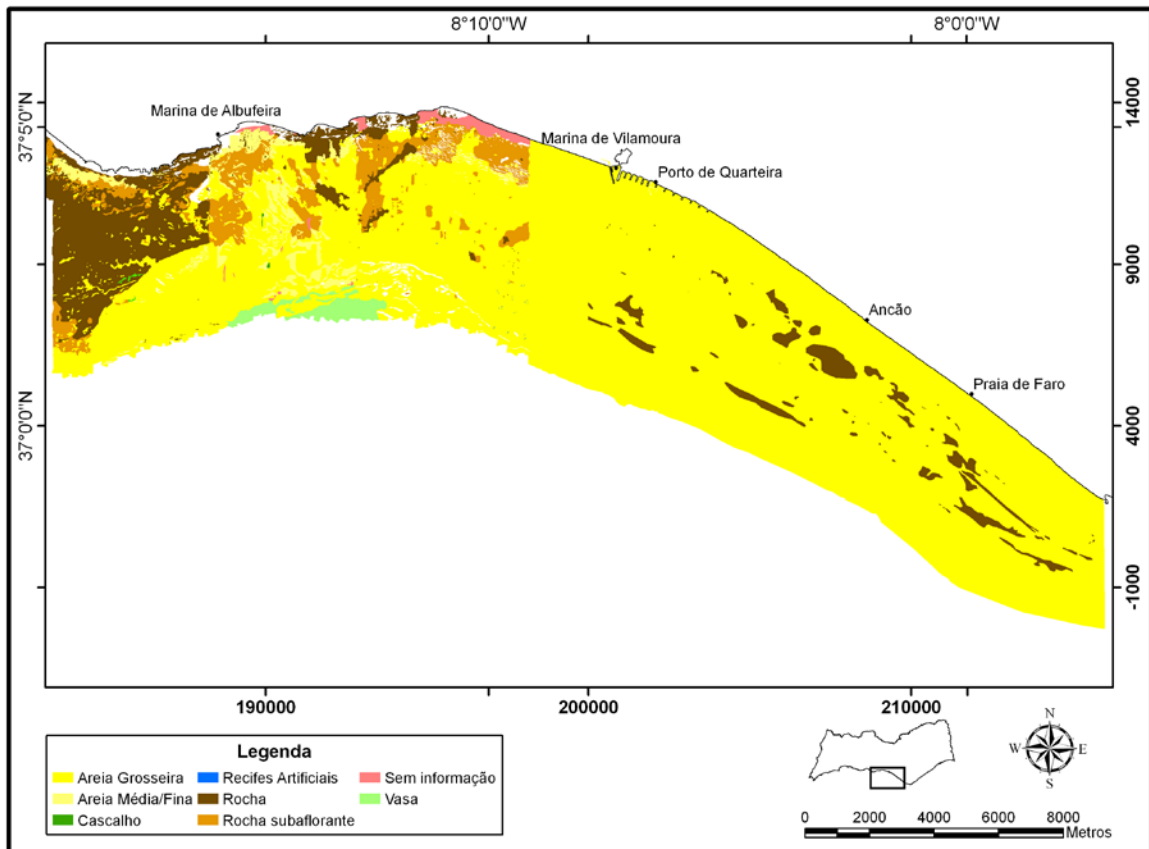
As superfícies obtidas foram comparadas em ambiente SIG, tal como o descrito para a quantificação do impacto das dragagens, de modo a quantificar a variação da densidade entre os dois cenários criados.

### **3. Resultados**

#### **Área de Estudo**

A área de estudo situa-se no Algarve central, entre a Galé e a Barra Nova do Ancão. Estando os dados biológicos relacionados com a caracterização da Reserva Ecológica Submarina (Dec-Lei nº 93/90 de 19 de Março, Anexo I, 1.f), esta é delimitada pela batimétrica dos 30 metros de profundidade, estendendo-se assim a zona de estudo desde a linha de costa até esta profundidade.

Trata-se de uma área que pode ser dividida em duas zonas, usando como linha de fronteira a zona de Vilamoura/Quarteira: uma a este desta caracterizada por declives de profundidade suaves que se traduz em extensas áreas a partir da costa até aos 30 metros de profundidade e fundos constituídos essencialmente por areia fina e média, sendo rara a existência de areia grosseira. Os substratos rochosos são raros e de pequenas dimensões quando comparados com a área total, caracterizando-se por não formar grandes aglomerados rochosos. A exceção poderá ser considerada uma zona rochosa com cerca de 3 km de extensão e cerca de 200 metros de largura localizada em frente à Praia de Faro. É ainda de realçar a inexistência de substrato rochoso subaflorante. A zona localizada a oeste da linha divisória é também extensa em termos de distância à costa e apresenta maior variedade de substratos, no sentido em que estes encontram-se mais distribuídos por toda a zona, os afloramentos rochosos são de maiores dimensões e possui grandes áreas de substrato rochoso subaflorante, apresentando ainda uma área vasosa, ausente no lado este (Figura 3.1).

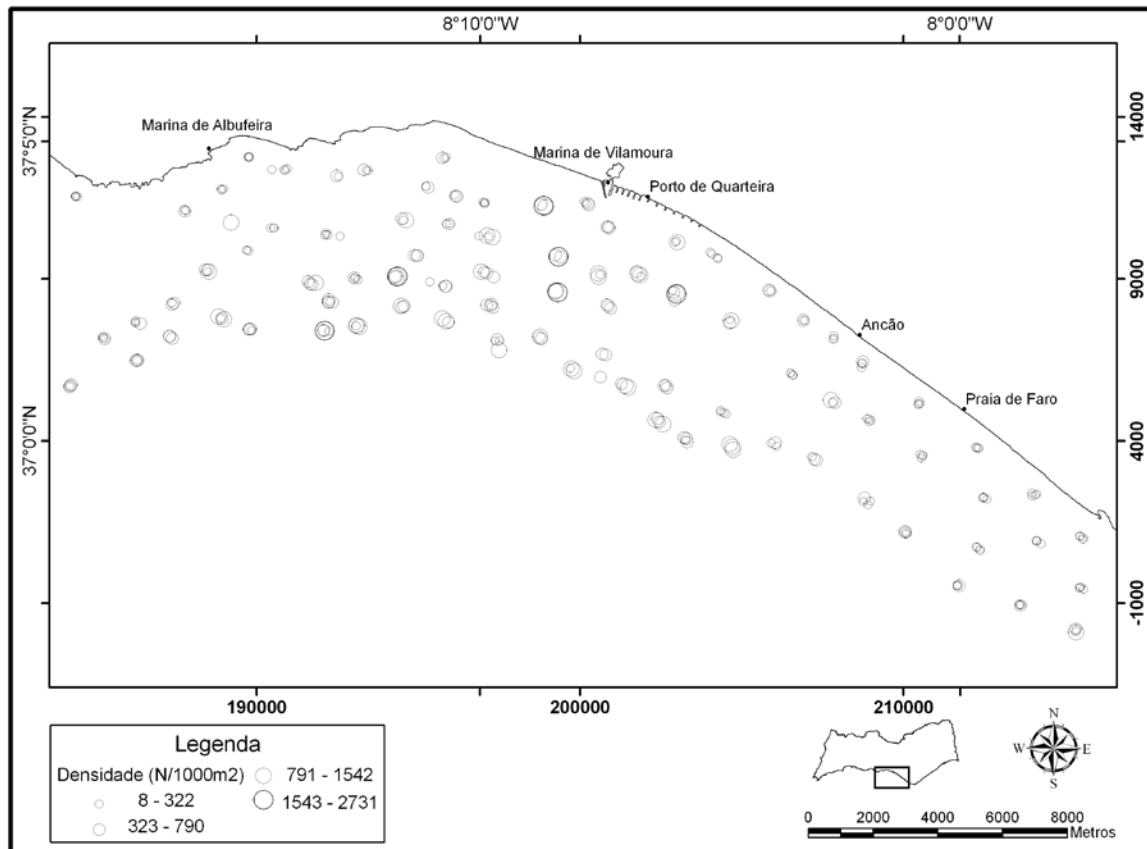


**Figura 3.1 – Sedimentos existentes na área de estudo.**

### **Distribuição espacial da Densidade**

Usando os dados obtidos através da arte de arrasto de vara, procedeu-se à análise das densidade de indivíduos, utilizando para tal, os dados de todos os grandes grupos em estudo, nomeadamente a ictiofauna e os macroinvertebrados bentónicos.

A distribuição espacial da densidade foi heterogénea, sendo caracterizada por variações ao longo da área de estudo e também em relação à distância à costa. Assim, os valores mais baixos são encontrados na parte mais a este e na parte mais oeste da área de estudo, tendo os valores mais elevados sido verificados na parte central. Em relação à distância à costa, verificou-se que as maiores densidades ocorrem nas maiores profundidades (Figura 3.2).

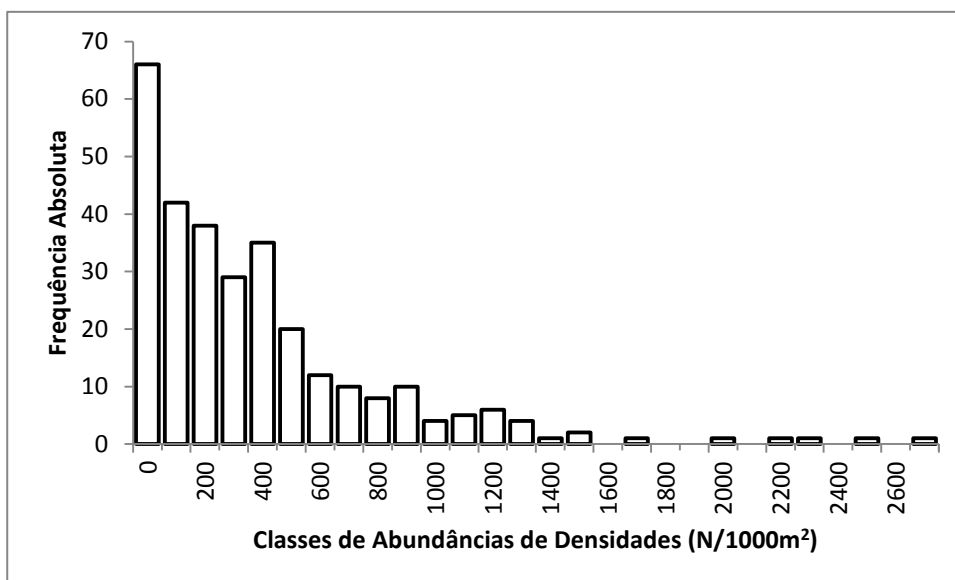


**Figura 3.2 – Densidades (N por 1000 m<sup>2</sup>) obtidas por arrasto de vara na área de estudo.**

A variabilidade sazonal é mais evidente na zona central da área de estudo (Figura 3.2), sendo caracterizada por apresentar anéis relativamente concêntricos em relação ao ponto de amostragem fixo e deste modo denotando a maior variabilidade. Os valores mais elevados foram amostrados, principalmente, na Primavera e Verão, e os valores mais baixos no Outono e Inverno.

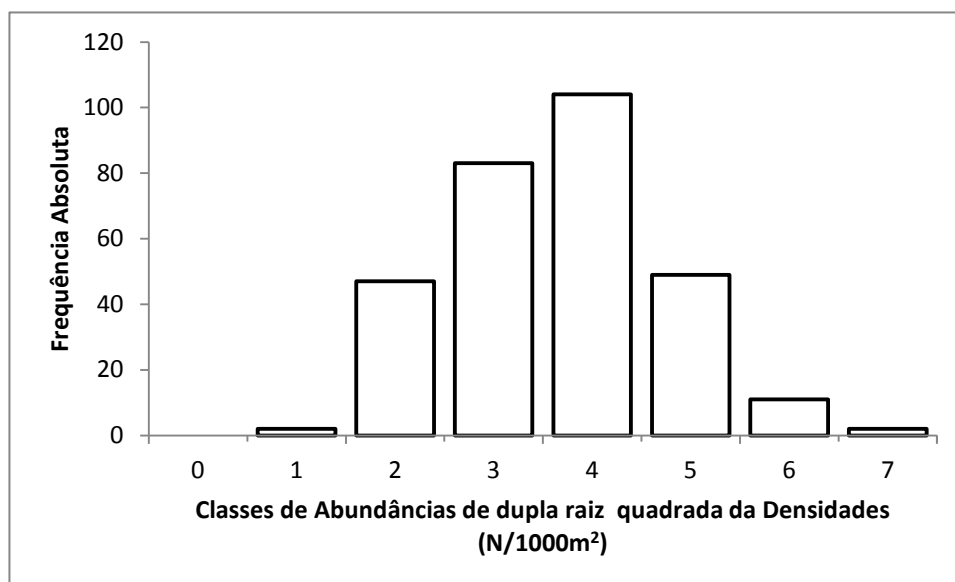
### **Análise exploratória**

A análise exploratória dos dados indicou a existência de frequências mais elevadas para valores de densidade mais baixos (Figura 3.3), cerca de 70% das 298 amostras apresentaram valores inferiores a 500 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>, sendo o valor médio de 431,08 ± 434,93 (desvio padrão). No entanto, os valores variaram bastante, dado que o intervalo observado foi entre 8 e 2731 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.3 – Histograma das classes de abundância das densidades (N/1000m<sup>2</sup>) obtidas.**

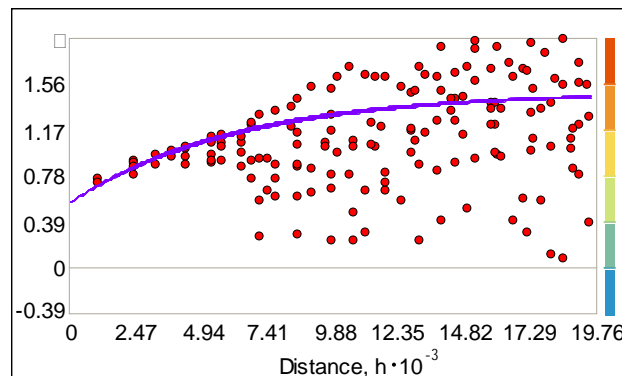
Com o objectivo de proceder à transformação dos dados originais de modo a obter uma distribuição normal, condição necessária à aplicação dos métodos geoestatísticos, experimentaram-se várias transformações. A dupla raiz quadrada foi a transformação que permitiu obter uma melhor normalidade dos dados originais (Figura 3.4).



**Figura 3.4 – Histograma das classes de adundância das densidades (N/1000m<sup>2</sup>) após transformação por dupla raiz quadrada.**

No semi-variograma obtido, é possível verificar a existência de uma semi-variância menor para distâncias mais curtas e que vai diminuindo progressivamente, à medida que a

distância entre os pares de pontos aumenta. Os locais de amostragem com distâncias superiores a 17 km já não apresentam relação entre si, devido à estabilização do semi-variograma (Figura 3.5).



**Figura 3.5 – Semi-variograma obtido na elaboração do modelo geoestatístico. Os pontos a vermelho representam os pares de valores, distância (*distance*) em quilómetros.**

## Modelos

### Geoestatístico

Para a obtenção do modelo geoestatístico foi necessário elaborar vários modelos, assim, e para cada método de *kriging* previamente seleccionado, elaborou-se no mínimo três modelos realizados em dias diferentes e efectuados do modo mais independente possível.

A escolha do modelo mais correcto teve por base os critérios estabelecidos na metodologia e a melhor adaptação à realidade biológica observada.

O modelo que obteve melhores resultados de ajuste foi o que utilizou o método ordinário de “krigagem”, com o modelo exponencial e a transformação dos dados com dupla raiz quadrada.

Assim o modelo obtido para a previsão dos valores de densidade para toda a área em estudo foi o seguinte:

$$0.94493 * \text{Exponential}(19471, 17882, 40.2) + 0.54752 * \text{Nugget}$$

Os parâmetros da componente anisotrópica do modelo encontram-se na Tabela 3.1 . Foi necessário recorrer à componente anisotrópica para se poder obter um melhor ajuste, dado que na análise da componente anisotrópica foi possível verificar que o melhor ajuste

ocorria numa elipse relativamente perpendicular à linha de costa (direcção 40.2°) e que apesar de terem o mesmo modelo, tinham amplitudes diferentes, sendo a amplitude máxima na direcção referida e a mínima perpendicular a esta.

**Tabela 3.1 – Parâmetros da componente anisotrópica do modelo obtido. Amplitudes em metros e a direcção em graus.**

Anisotropia		
Amplitude maior	Amplitude menor	Direcção
19471	17882	40.2

O valor do intervalo de distância (*Lag*) utilizado na estimação deste modelo foi de 1500 metros. Este valor apresenta uma forte relação com a distância média entre arrastos de vara, permitindo deste modo assegurar a existência de locais próximos uns dos outros e por outro lado manter uma regionalização da modelação. O número de intervalos utilizados foi de treze, cobrindo deste modo cerca de dois terços da área de estudo. Isto é, para cada local de amostragem foi calculada a sua semi-variância até uma distância entre pontos de cerca de 19500 metros.

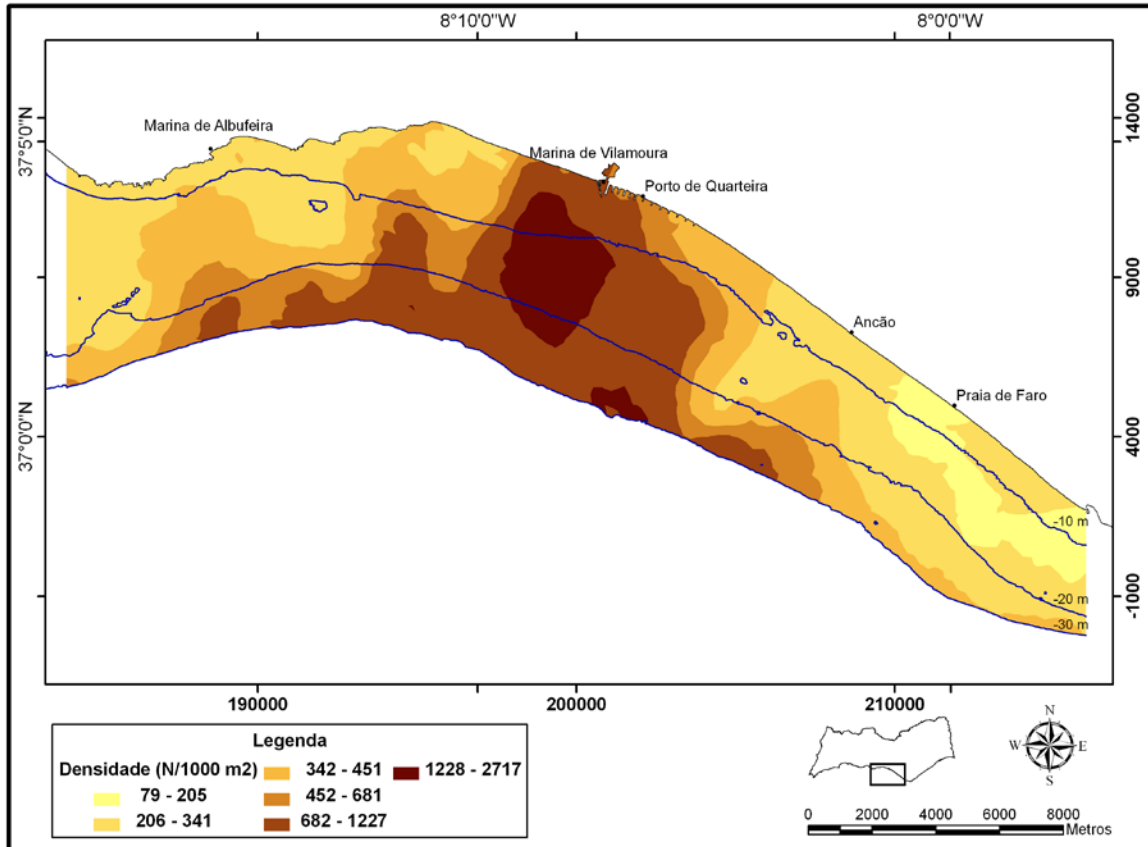
Os valores obtidos para os erros de predição do modelo geoestatístico ajustado encontram-se na Tabela 3.2 . Os valores obtidos indicam a existência de um bom ajuste do modelo, de facto, o valor médio do erro é muito próximo de zero e a raiz quadrada média estandardizada é muito perto de um. Por outro lado, os valores da raiz quadrada média e do erro padrão médio são muito próximos, realçando a qualidade do ajuste e indicando a adequação deste modelo para prever os valores nos locais amostrados e para ser usado na previsão de valores de densidades de fauna na área de estudo. A proximidade destes dois valores indica que se estimou correctamente a variabilidade. Contudo, a variabilidade poderá estar um pouco subestimada neste modelo, porque o erro padrão médio dos erros é ligeiramente inferior à raiz quadrada média do erro da predição e a raiz quadrada média estandardizada é ligeiramente superior a 1.

**Tabela 3.2 – Valores obtidos para os erros do modelo geoestatístico ajustado.**

Parâmetros	Valores
Média	-0.00188
Raiz Quadrada Média	0.8230
Erro Padrão Médio	0.8193
Média Standartizada	-0.00172
Raiz Quadrada Média Standartizada	1.005

## Superfícies de previsão e de erro padrão

O modelo geoestatístico ajustado pode ser expresso graficamente, tornando-se deste modo mais ilustrativa a sua representação espacial (Figura 3.6).



**Figura 3.6 – Superfície de previsão para a densidade (N/1000 m<sup>2</sup>) segundo o modelo geoestatístico obtido.**

Nesta representação gráfica é possível verificar a existência de uma zona de elevada densidade sensivelmente a meio da área de estudo, em frente a Vilamoura e Quarteira, abrangendo um intervalo de batimetria amplo mas sendo mais evidente entre os 10 e os 20 metros de profundidade. A segunda camada com maiores densidades ocorre logo a seguir, ocupando a restante área da zona central de estudo sendo, contudo, mais extensa entre os 20 e os 30 metros. As camadas de densidades seguintes seguem, de um modo geral, o contorno das anteriores, tendo quase sempre o mesmo padrão. A camada com densidades mais baixas ocorre em frente à praia de Faro, não ultrapassando a batimétrica dos 20 metros de profundidade.

A previsão do erro padrão indica que, de um modo geral, aquele varia entre os 0,4 e os 1,4 indivíduos por 1000 metros quadrados para toda a área de estudo, estando contudo praticamente toda a área coberta pelas duas classes de erro mais baixas. Estes valores de erro padrão indicam a adequação do modelo para a representação da densidade em toda a área de estudo (Figura 3.7).

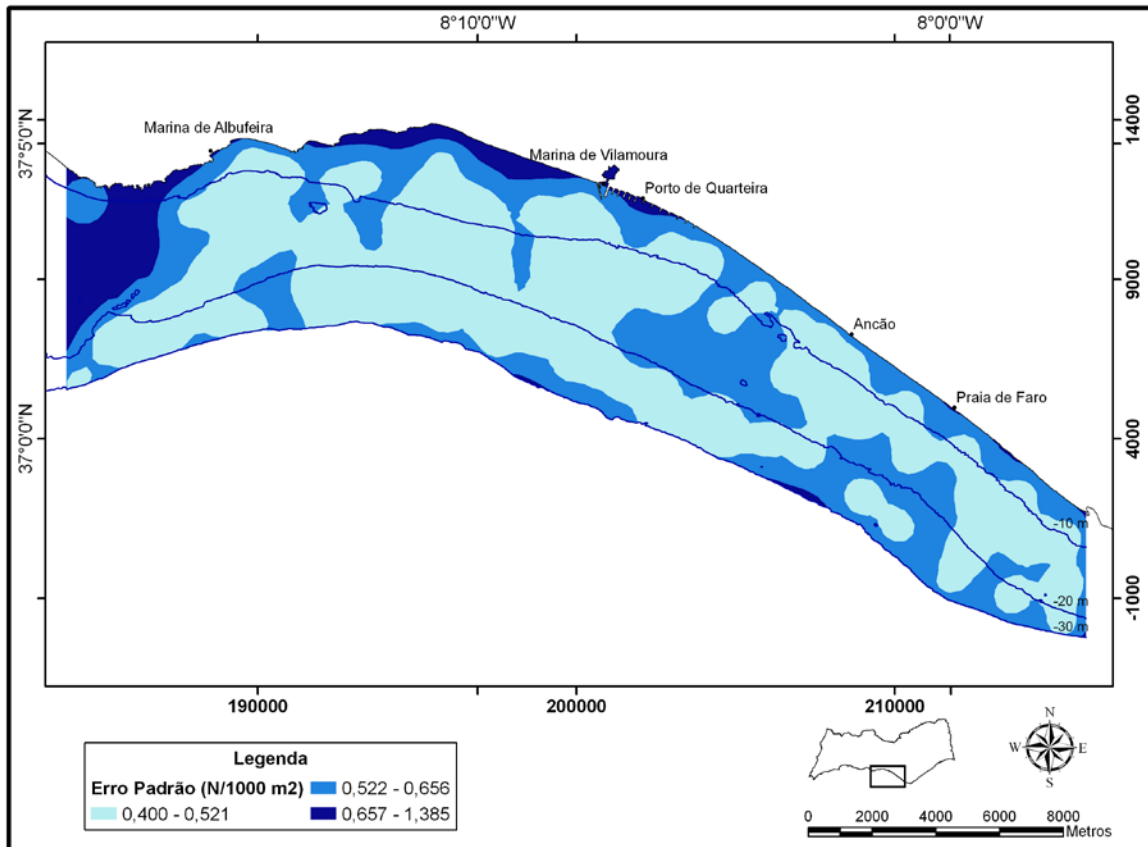


Figura 3.7 - Superfície de previsão do erro padrão para a densidade (N/1000 m<sup>2</sup>) segundo o modelo geostatístico obtido.

### Aditivos Generalizados

A realização dos modelos aditivos generalizados implica a utilização de variáveis explicativas para a variável resposta analisada. Assim é necessário proceder à escolha de variáveis explicativas que de algum modo estejam relacionadas com a variável resposta e que o conhecimento da ecologia da variável resposta possa indicar como uma variável explicativa.

As variáveis utilizadas neste trabalho foram seleccionadas com base em critérios ecológicos, estatísticos e ainda da sua disponibilidade (Tabela 3.3), visto que outras variáveis seriam desejáveis de serem utilizadas, por exemplo, a clorofila *a*, como indicador de produtividade. Tal não foi possível, devido à diferença de escala a que este estudo foi realizado e à escala a que as mesmas se encontram disponíveis.

**Tabela 3.3 – Listagem e descrição das variáveis consideradas no modelo aditivo generalizado.**

Variável	Nome	Descrição	Origem	Unidades	Média (intervalo)
Profundidade	Prof	Profundidade média dos arrastos nos pontos inicial, médio e final	Sonda manual	metros (m)	19,5 (5,9 - 31,4)
Latitude	X	Latitude do local de início do arrasto	GPS	metros (m)	202897 (184211 - 215553)
Longitude	Y	Longitude do local de início do arrasto	GPS	metros (m)	4097 (-1916 - 11565)
Substrato	Subst	Camada de tipo de substrato existente na área de estudo	DRAOT-Algarve	formato ESRI	
Temperatura	Temp	Temperatura da água do mar superficial	Sonda Multiparâmetros YSI-85 e PO.DAAC	Celsius	18,3 (13,5 - 22,5)
Oxigénio	O2	Oxigénio da água do mar superficial	Sonda Multiparâmetros YSI-85	mg/l	8,21 (6,46 - 11,36)
Salinidade	Sal	Salinidade da água do mar superficial	Sonda Multiparâmetros YSI-85	partes por mil	36,23 (35,9 - 36,6)
Distância à costa	distancia	Distância perpendicular à costa em intervalos de 500 metros	Análise em Sistema de Informação Geográfica	metros (m)	(500 - 6500)
Mês	Mes	Meses em que ocorreram amostragens	Plano de amostragem	1 (Janeiro) a 12 Dezembro	(1 - 12)
Estação do Ano	Estação	Estação do ano de amostragem	Plano de amostragem	1(Primavera) a 4 (Inverno)	(1-4)

Nos processos de modelação é muito importante um profundo conhecimento das variáveis que se pretende utilizar e das relações entre elas. Deste modo, e com o objectivo de se conhecer as correlações entre elas, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 3.4).

**Tabela 3.4 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis consideradas. Dens é a densidade.**

	Dens	Prof	X	Y	Temp	O2	Sal	distancia
Dens	----							
Prof	0,53	----						
X	-0,31	-0,51	----					
Y	0,25	0,15	-0,85	----				
Temp	-0,03	-0,24	0,22	-0,07	----			
O2	0,06	0,12	-0,12	0,13	-0,17	----		
Sal	-0,27	-0,23	0,44	-0,36	0,41	-0,16	----	
distancia	0,51	0,96	-0,60	0,24	-0,21	0,11	-0,24	----

A análise da matriz dos coeficientes de correlação de Pearson indica que a densidade apresenta correlação positiva mais significativa com a profundidade, o substrato e a distância à costa e ainda uma correlação positiva fraca com a longitude (Y), sendo as correlações negativas mais significativas com a latitude (X) e a salinidade. Entre as variáveis destaca-se uma forte correlação positiva entre a profundidade e a distância à costa e correlações positivas entre as variáveis ambientais, temperatura e salinidade.

Os gráficos das relações entre as densidades e as variáveis consideradas e entre estas estão na Figura 3.8, tendo sido adicionada uma linha de tendência para uma melhor interpretação. É possível verificar que a relação entre a densidade e algumas variáveis (p.ex. profundidade, X e distância à costa) apresenta uma forma típica de uma distribuição de Poisson e que a densidade apresenta alguns valores extremos.

Analisando as relações entre as variáveis, identificaram-se algumas colinearidades, nomeadamente entre a profundidade e a distância à costa e entre a estação do ano e a variável mês. A relação entre a estação do ano e os meses é óbvia, assim, optou-se por utilizar a variável mês em detrimento da estação visto que incorpora mais resolução, varia de 1 a 12 em vez de 1 a 4, e ainda permite uma melhor utilização de resultados interanuais.

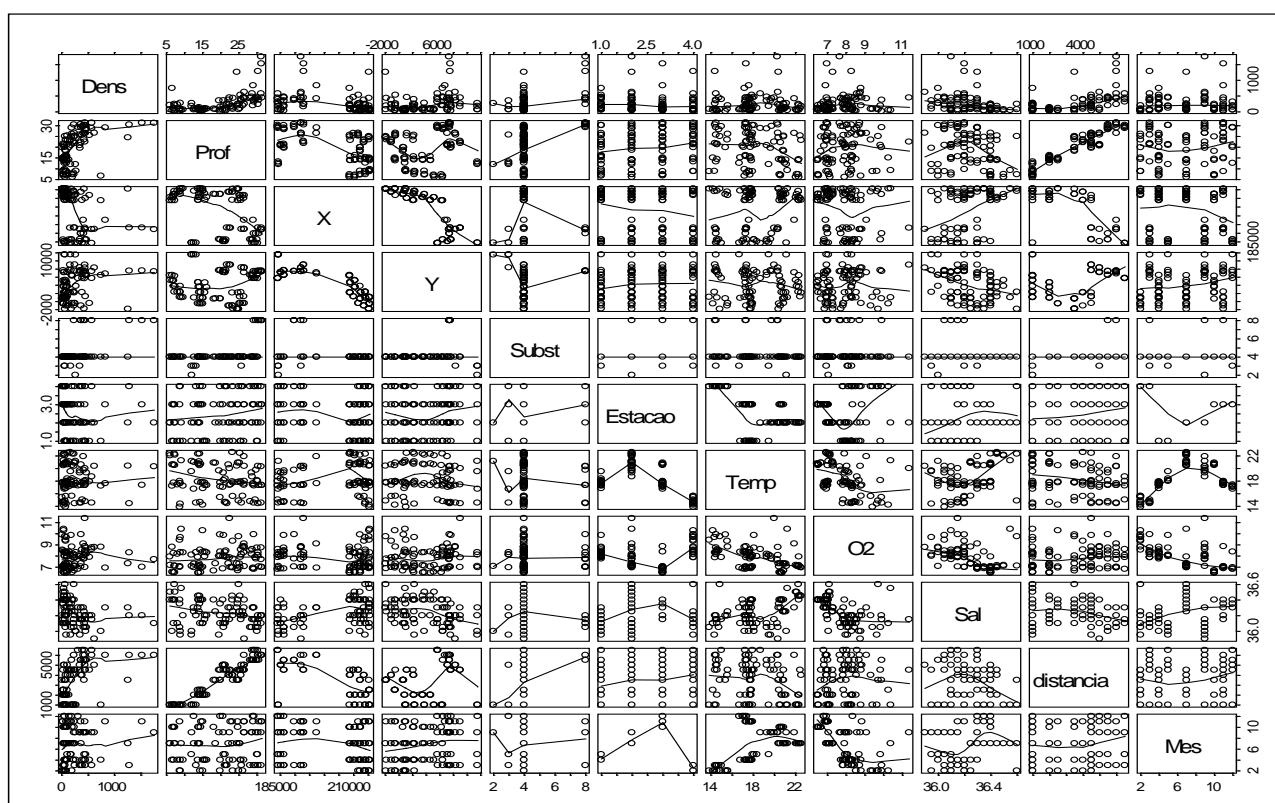
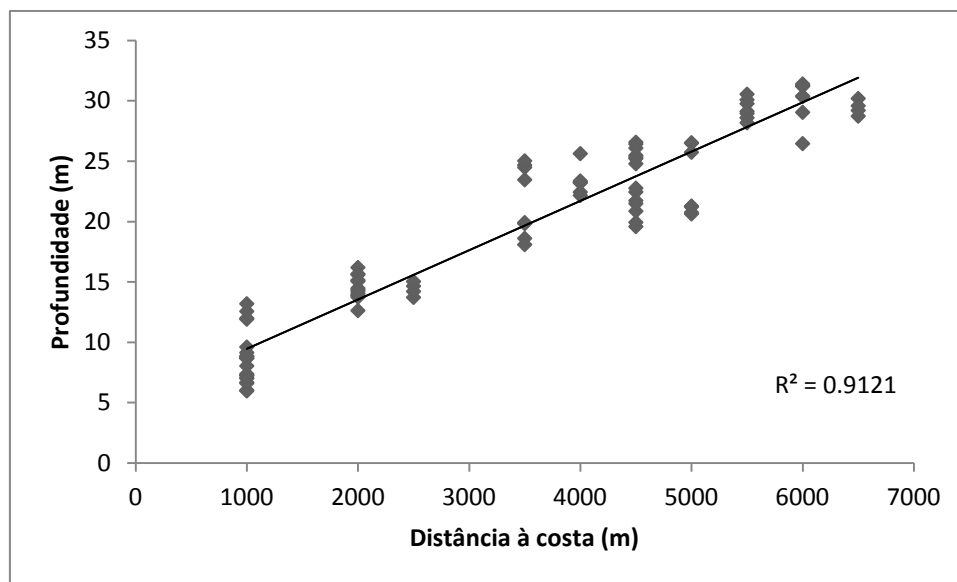


Figura 3.8 – Gráficos de relações entre a densidade e as variáveis consideradas no modelo aditivo generalizado. Foi adicionada uma linha de tendência para melhor interpretação.

A relação entre a profundidade e a distância à costa encontra-se mais pormenorizada na Figura 3.9, é possível ver a relação linear existente entre elas ( $r^2$  de 0,91). Deste modo foi necessário proceder à escolha de uma delas ou em alternativa proceder à elaboração de um índice resultante da multiplicação entre ambas. A escolha incidiu pela variável profundidade visto que esta apresentou um valor de AIC inferior ao da variável distância à costa (Tabela 3.5). Apesar de esta relação à primeira vista ser óbvia, ela não será verdadeira para todo o Algarve, principalmente no que se refere à baía de Armação de Pêra, razão pela qual foi estimada e incluída, apesar de não estar incluída na área de estudo. Por outro lado, é uma variável muito fácil de obter, o que é sempre um factor a ter em consideração.



**Figura 3.9 – Relação entre as profundidades e a distância à costa.**

Para todas as variáveis explicativas obtidas foi calculado o seu AIC em relação ao modelo nulo, isto é, o AIC só da densidade. Os valores obtidos para cada uma das variáveis encontram-se na Tabela 3.5, estando as mesmas ordenadas em função da sua importância individual para a densidade, isto é, com os valores de AIC mais baixos.

**Tabela 3.5 – Valores de AIC obtidos para cada variável em relação a um modelo nulo no primeiro passo do processo de selecção, utilizando a distribuição de Poisson. Os valores de AIC mais baixos indicam as variáveis mais importantes.**

Variavel	df	AIC
Prof	4	10444.2
Distancia	4	12790.2
X	4	15428.2
Y	4	15561.3
Subst	3	17148.7
Sal	4	19258.3
O2	4	21030.6
Mes	4	21349.9
Temp	4	21468.7
Estacao	3	23122.9

Após a noção do contributo das variáveis individuais em relação a um modelo nulo, foi avaliada a sua importância para o modelo no seu conjunto tendo sido calculado para tal o  $R^2$  e o AIC para cada modelo após a exclusão de cada uma das variáveis (Tabela 3.6). Os valores de  $R^2$  são muito semelhantes, variaram entre 0,708 e 0,785, não permitindo tirar grandes conclusões em relação à importância relativa das variáveis explicativas para a elaboração do modelo final. Contudo, os valores de AIC permitem uma melhor interpretação, visto que incorporam a penalização dos graus de liberdade.

**Tabela 3.6 – Valores de  $R^2$  e AIC para cada modelo após a remoção sequencial de cada uma das variáveis em análise.**

Variavel	Variáveis seleccionadas								
Prof	x	x	x	x	x	x	x	x	
X	x	x	x	x	x	x	x		x
Y	x	x	x	x	x	x		x	x
Subst	x	x	x	x	x		x	x	x
Sal	x	x	x	x		x	x	x	x
O2	x	x	x		x	x	x	x	x
Mes	x	x		x	x	x	x	x	x
Temp	x		x	x	x	x	x	x	x
Deviance	5097.1	5429.0	5458.7	5259.2	5516.8	5229.6	5597.8	5783.1	6913.1
df	60.0	64.0	64.0	64.0	64.0	62.9	64.0	64.0	64.0
$R^2$	0.785	0.771	0.770	0.778	0.767	0.779	0.764	0.756	0.708
AIC	5161.1	5484.9	5514.7	5315.2	5572.8	5287.8	5653.7	5839.2	6969.0

O processo final de estimação foi efectuado com recurso a um processo de modelação por passos; as variáveis foram introduzidas uma a uma e foi medido o contributo

que cada uma delas acrescentava ao modelo final (Tabela 3.7). Durante este processo foram também estimados os graus de liberdade a utilizar através da minimização do AIC durante o *stepgam*. Assim, verificou-se que para todas as variáveis se iriam utilizar 4 graus de liberdade na função suavizadora *spline*, excepto para a variável *substrato* cujo melhor ajuste foi obtido com 3 graus de liberdade.

Após a realização do *stepgam*, verificou-se que somente duas variáveis eram significativas ( $p < 0.05$ ), nomeadamente a profundidade (*prof*) e a longitude (*Y*); todas as outras variáveis não apresentavam um contributo significativo para o modelo. Deste modo, o modelo final teria que ter somente estas duas variáveis. Contudo, os dados anteriores indicavam a existência de mais variáveis com possibilidade de integrar o modelo.

**Tabela 3.7 – Contributo das variáveis explicativas no final do processo de modelação por *Stepgam*.**

	Df	Npar	Df	Npar	Chisq	P(Chi)
(Intercept)	1					
s(Prof, df = 4)	1	3			30.253	0.0000012
s(X, df = 4)	1	3			3.964	0.2679727
s(Y, df = 4)	1	3			13.419	0.0039118
s(Subst, df = 3)	1	1.9			1.774	0.3914768
s(Sal, df = 4)	1	3			5.278	0.1520456
s(O2, df = 4)	1	3			2.437	0.4869247
s(Mes, df = 4)	1	3			4.814	0.1887479
s(Temp, df = 4)	1	3			3.195	0.3624613

A realização do modelo definitivo implicou a realização de ANOVAs para proceder à comparação dos modelos par a par.

Assim, e partindo de um modelo inicial completo, isto é, com todas as variáveis utilizadas no processo de *stepgam* e introduzidas no modelo segundo a sua ordem de significância desse processo, mas já com os graus de liberdades da função suavizadora definidos, realizou-se um processo de selecção das variáveis em que ao modelo inicial era retirada uma variável de cada vez e realizada uma ANOVA entre o modelo e o modelo menos a variável em análise, e registado o seu contributo. Após a realização de todas as ANOVAs, foi excluída a variável menos significativa e com o novo modelo repetiu-se todo o processo de exclusão de uma variável de cada vez, analisada a sua significância e depois eliminada a que menos contribuía para o modelo (Anexo, Tabela 1).

O resultado final deste processo encontra-se na Tabela 3.8. Verifica-se que foram retiradas ao modelo original três variáveis e que a exclusão das outras levou a que houvesse diferenças significativas entre os modelos, excepto para a variável latitude (X).

**Tabela 3.8 – Resultados das ANOVAs realizadas entre o modelo original menos as variáveis assinaladas.**

Modelos	Resid. Df	Resid. Dev	Excluída	Df	Deviance	F Value	Pr(F)	Classificação Variável
Modelo - O2-Subst-Temp	70.92	5700.11						
Modelo - O2-Subst-Temp - Sal	74.89	6762.50	s(Sal, df = 4)	-3.97	-1062.4	3.323	0.0151	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Mes	74.96	6923.61	s(Mes, df = 4)	-4.04	-1223.5	3.764	0.0076	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X	74.91	6220.07	s(X, df = 4)	-3.99	-520.0	1.618	0.1793	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Y	74.91	6518.25	s(Y, df = 4)	-4.00	-818.1	2.544	0.0470	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Prof	74.93	8099.88	s(Prof, df = 4)	-4.01	-2399.8	7.438	0.0000	significativa

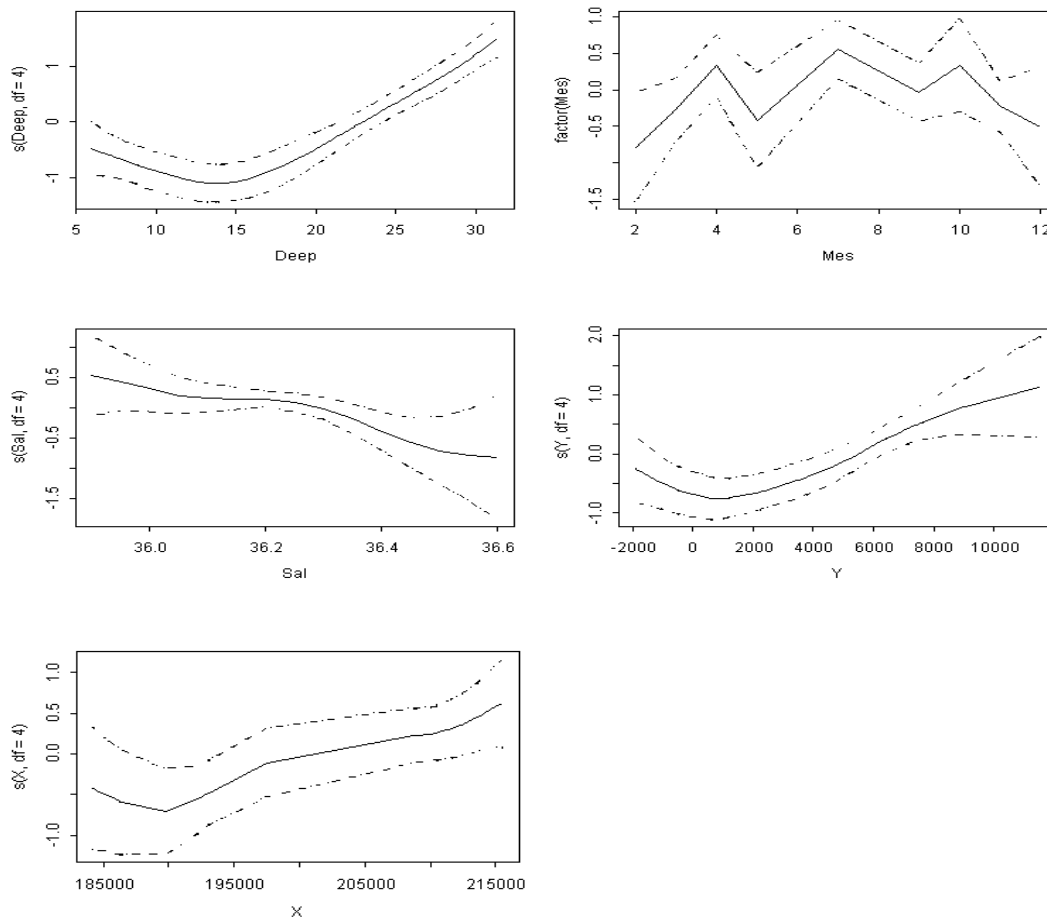
O modelo final para a densidade exclui as variáveis oxigénio (O<sub>2</sub>), substrato (Subst) e temperatura (Temp), e também a latitude (X). No entanto, esta variável foi incluída no modelo final para que o mesmo pode-se ser utilizado mais facilmente em ambiente SIG. As variáveis mais significativas são, por ordem de importância, a profundidade (Prof), longitude (Y), mês (Mes) e salinidade (Sal) (Tabela 3.9).

**Tabela 3.9 – Significância das variáveis explicativas no modelo definitivo.**

	Df	Npar	Df	Npar	Chisq	P(Chi)
(Intercept)	1					
s(Prof, df = 4)	1	3			34.28	0.0000002
s(Mes, df = 4)	1	3			15.36	0.0016042
s(Sal, df = 4)	1	3			8.57	0.0351955
s(Y, df = 4)	1	3			16.36	0.0009688
s(X, df = 4)	1	3			5.03	0.1722690

A Figura 3.10 apresenta as relações entre os resíduos parciais obtidos para as variáveis explicativas e as densidades na área de estudo. O efeito da variável profundidade na densidade apresenta uma tendência para ser negativa até cerca dos 23 metros, com a maior expressão cerca dos 14 a 15 metros. Após os 23 metros a tendência inverte-se sendo de acréscimo para as maiores profundidades. O efeito da variável mês é positivo na densidade, mas de pequena expressão, entre Abril e Outubro. Nos restantes meses o seu efeito é negativo principalmente no mês de Fevereiro. O efeito da salinidade é praticamente nulo até às 36,3 ‰, podendo ter algum efeito positivo na densidade para valores abaixo das 36 ‰, acima das 36,3 ‰ o efeito é claramente negativo. O efeito da longitude sugere densidades mais elevadas acima da longitude 5000, aumentando as mesmas com o

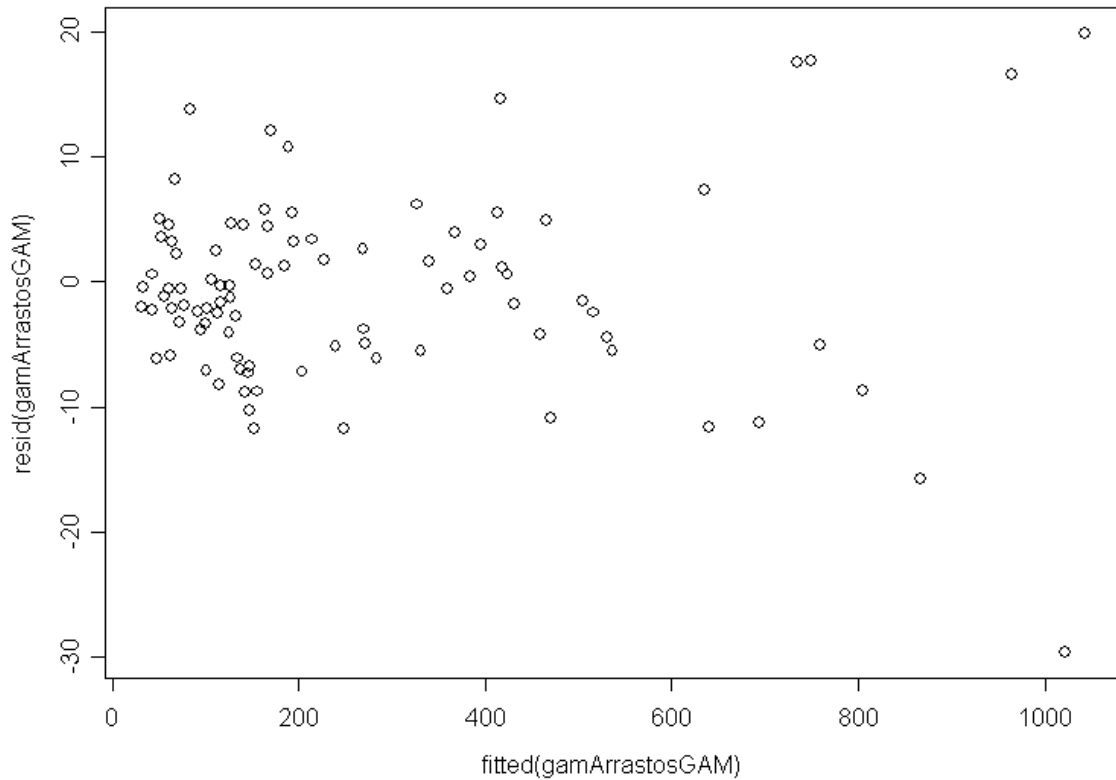
aumento da longitude, nas longitudes mais baixas o efeito sobre a densidade é negativo especialmente entre as coordenadas 0 e 2000. O efeito da latitude na densidade é negativo abaixo da coordenada 200000, dividindo deste modo a área de estudo em duas partes, a parte a oeste desta coordenada apresenta um efeito negativo na densidade, com maior expressão abaixo dos 190000, e a parte a este desta coordenada, com uma efeito positivo linear com a densidade.



**Figura 3.10 – Efeito das variáveis explicativas na densidade da área de estudo. As linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança de 95%.**

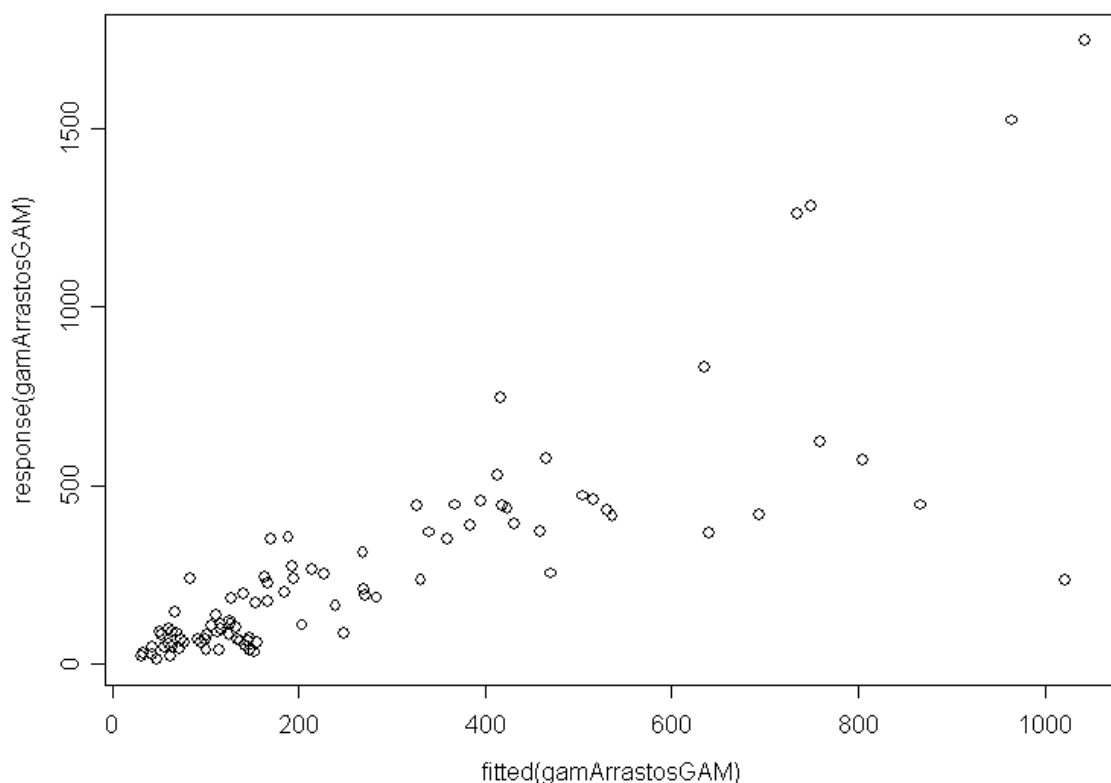
A verificação do modelo pode ser efectuada através da Figura 3.11. Verifica-se que os resíduos não apresentam um padrão concreto para a principal gama de valores a modelar, isto é, valores de densidade até 400 (N/1000 m<sup>2</sup>). Para valores superiores os resíduos do ajuste tem uma maior tendência para serem negativos, sendo este de maior magnitude do que os resíduos positivos, o que explica a curva de tendência apresentada. A identificação das amostras que mais contribuíram para a variação dos resíduos permitiu

repetir todo o processo de modelação. Contudo, a sua remoção não contribuiu para a realização de melhor modelo, sendo o modelo final essencialmente idêntico, pelo que, se optou por manter o modelo inicial.



**Figura 3.11 – Resíduos do ajuste do modelo GAM definitivo.**

Este modelo final é bastante acurado para estimativas reais de densidades até valores de cerca de 500 N/1000 m<sup>2</sup>. Após esses valores, o modelo começa a subavaliar os valores observados até cerca de densidades de 800 (N/1000 m<sup>2</sup>). Para valores ainda mais elevados a interpretação do resultado do modelo deverá ser muito cautelosa dado que para a gama de valores superiores, o modelo apresenta grandes discrepâncias em relação a valores reais (Figura 3.12).



**Figura 3.12 – Valores de densidade em função do ajuste do modelo GAM definitivo.**

A modelação das densidades de organismos na área de estudo através de modelos aditivos generalizados permitiu a explicação de cerca de 72% da variância total.

A determinação dos intervalos de confiança dos coeficientes do modelo foi efectuada através de uma técnica de reamostragem *bootstrap*. A opção por esta técnica em detrimento de uma validação cruzada deveu-se principalmente ao reduzido  $n$  da amostra, impedindo deste modo a realização de uma sub-amostragem. Os resultados foram obtidos após a realização de 1000 simulações (Tabela 3.10).

**Tabela 3.10 – Parâmetros de bootstrap obtidos para os coeficientes do modelo GAM após 1000 simulações *bootstrap*.**

	Observed	Bias	Mean	SE
(Intercept)	44.420000	-2.191000	42.230000	25.490000
s(Prof, df = 4)	0.093980	0.000459	0.094440	0.020650
s(Mes, df = 4)	0.011480	0.000120	0.011600	0.027630
s(Sal, df = 4)	-1.439000	0.087480	-1.351000	0.734800
s(Y, df = 4)	0.000130	-0.000010	0.000121	0.000048
s(X, df = 4)	0.000053	-0.000005	0.000048	0.000021

A média calculada das estimativas *bootstrap* para os coeficientes indicou erros pequenos para as duas variáveis mais significativas, profundidade (0,5%) e mês (1%), no entanto as outras variáveis explicativas apresentaram erros consideravelmente maiores, respectivamente, salinidade (6,1%), longitude (7,4%) e latitude (8,9%). A intercepção teve também um erro de 5% em relação à estimativa *bootstrap*.

Calculou-se igualmente os intervalos de confiança obtidos pela técnica *bootstrap* (Tabela 3.11) através dos percentis 2,5; 5; 95; e 97.5.

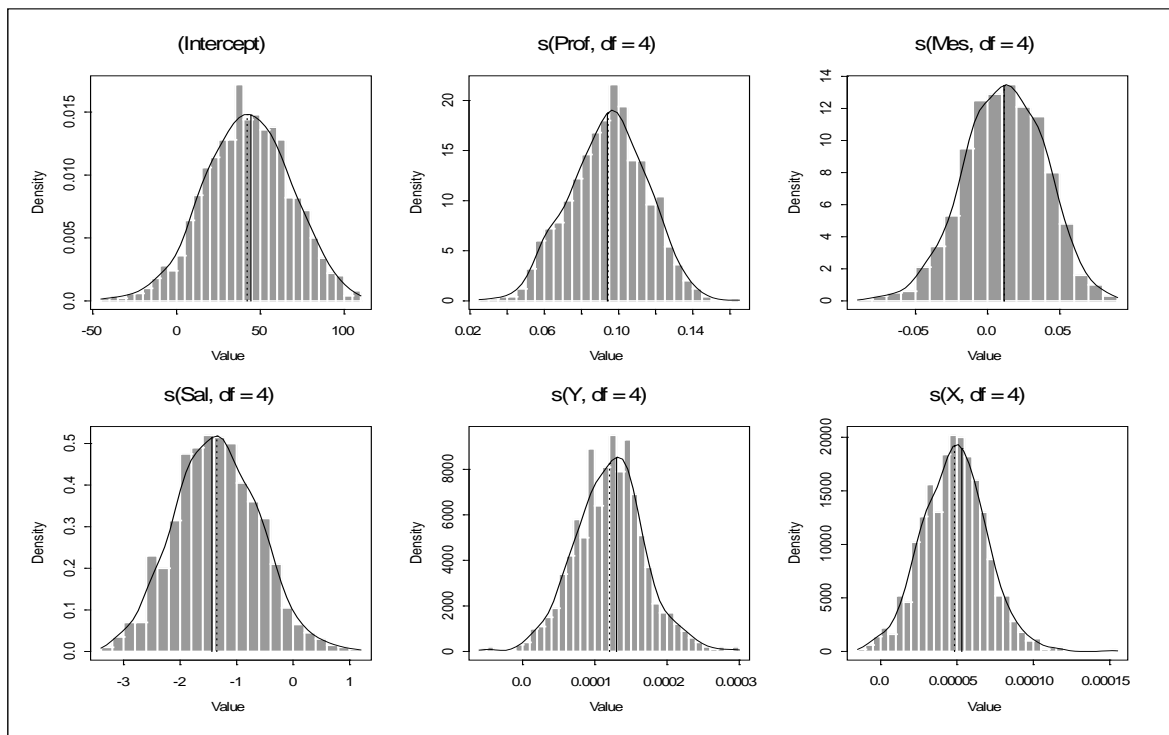
**Tabela 3.11 – Limites de confiança para os coeficientes do modelo GAM obtido realizados através de 1000 simulações bootstrap.**

	Limites de confiança			
	2.5%	5.0%	95.0%	97.5%
(Intercept)	-3.318781	6.546112	88.370000	96.148549
s(Prof, df = 4)	0.052296	0.057734	0.124200	0.129317
s(Mes, df = 4)	-0.051325	-0.040769	0.051320	0.058237
s(Sal, df = 4)	-2.973524	-2.701933	-0.371400	-0.138708
s(Y, df = 4)	0.000050	0.000063	0.000230	0.000249
s(X, df = 4)	0.000019	0.000024	0.000096	0.000103

A Figura 3.13 ilustra a distribuição dos valores dos coeficientes obtidos pelas 1000 simulações *bootstrap* para cada uma das variáveis, e em anexo (Figura 1) encontram-se ilustrados os respectivos quartis. A análise da figura sugere que as estimativas *bootstrap* dos coeficientes seguem uma distribuição gaussiana, contribuindo, deste modo, para a aceitação do modelo sugerido.

Uma melhor interpretação deste modelo pode ser efectuada de um modo visual (Figura 3.14), realçando assim a variabilidade espacial do mesmo e tornando-o mais acessível para ser interpretado e utilizado, principalmente no que se refere à gestão costeira, dado que simplifica a interpretação espacial deste modelo.

Existem duas zonas de menores densidades; uma na extremidade oeste e outra na extremidade este, ambas localizadas entre as batimétricas dos 10 e dos 20 metros de profundidade. A área restante entre aquelas duas batimétricas é ocupada por densidades entre 100 e 200 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>. Entre as batimétricas dos 20 e dos 30 metros as densidade são mais elevadas, principalmente na zona central da área de estudo e no seu extremo este, sendo que nas zonas menos profundas é também na zona central da área de estudo que os valores são mais elevados diminuindo à medida que nos afastamos tanto para este como para oeste.



**Figura 3.13 – Distribuições dos valores de coeficientes do modelo GAM obtido após 1000 simulações *bootstrap*.**

A situação de Inverno (Figura 3.15), representada no presente trabalho pelo mês de Fevereiro, resultante da análise do modelo GAM (Figura 3.10), apresenta-se com densidades mais baixas do que a situação geral. O padrão de distribuição das densidades na área de estudo é sensivelmente o mesmo do padrão anteriormente descrito, mas caracteriza-se pelas manchas de menores densidades mais extensas, prolongando-se para a zona central a partir da zona oeste e este, e a graduação das densidades não é tão intensa.

A situação de Verão (Figura 3.16), calculada com base numa simulação para o mês de Julho, é em tudo semelhante à situação geral com variações muito pequenas.

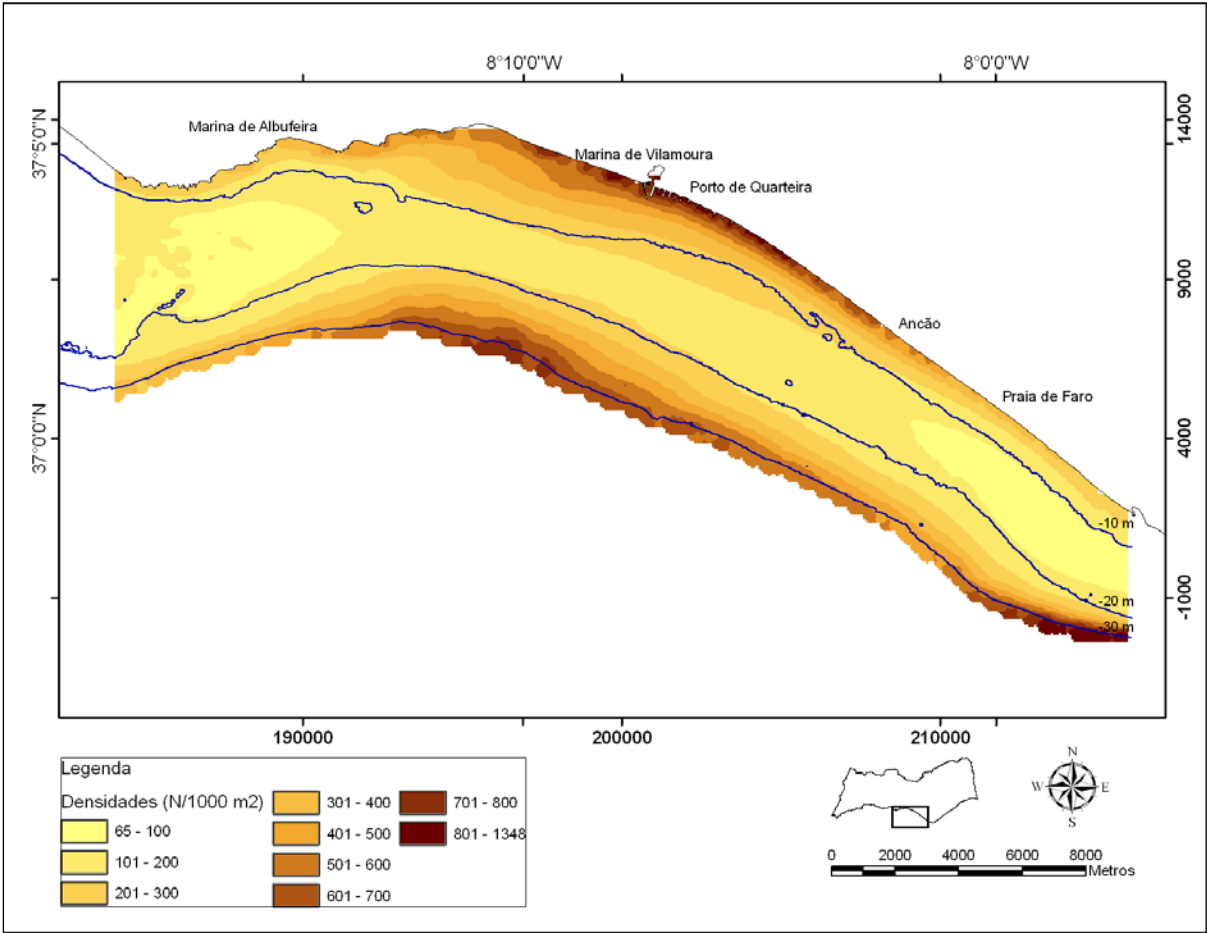


Figura 3.14 – Superfície de previsão da densidade faunística segundo o modelo aditivo generalizado obtido .

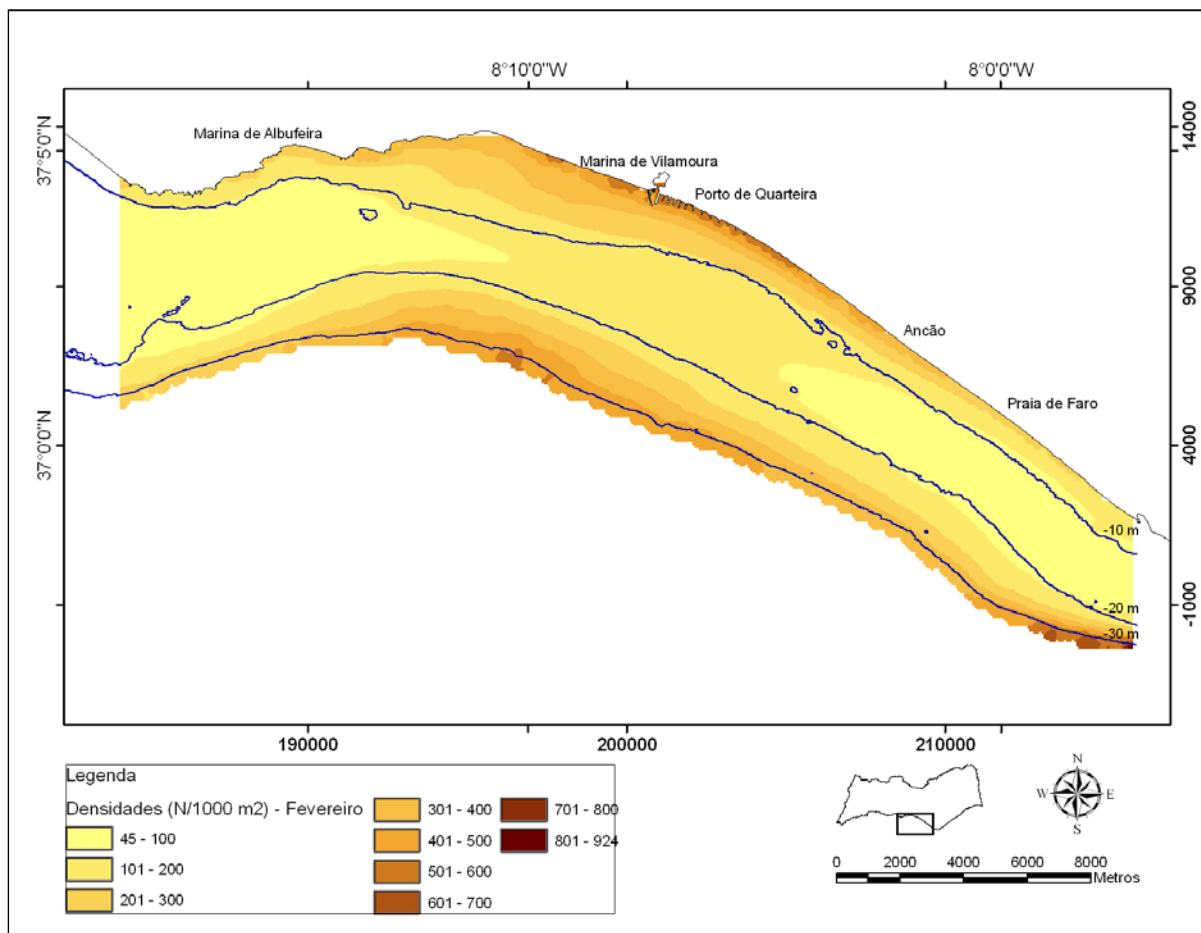


Figura 3.15 – Superfície de previsão da densidade faunística segundo o modelo aditivo generalizado obtido para o mês de Fevereiro (Inverno).

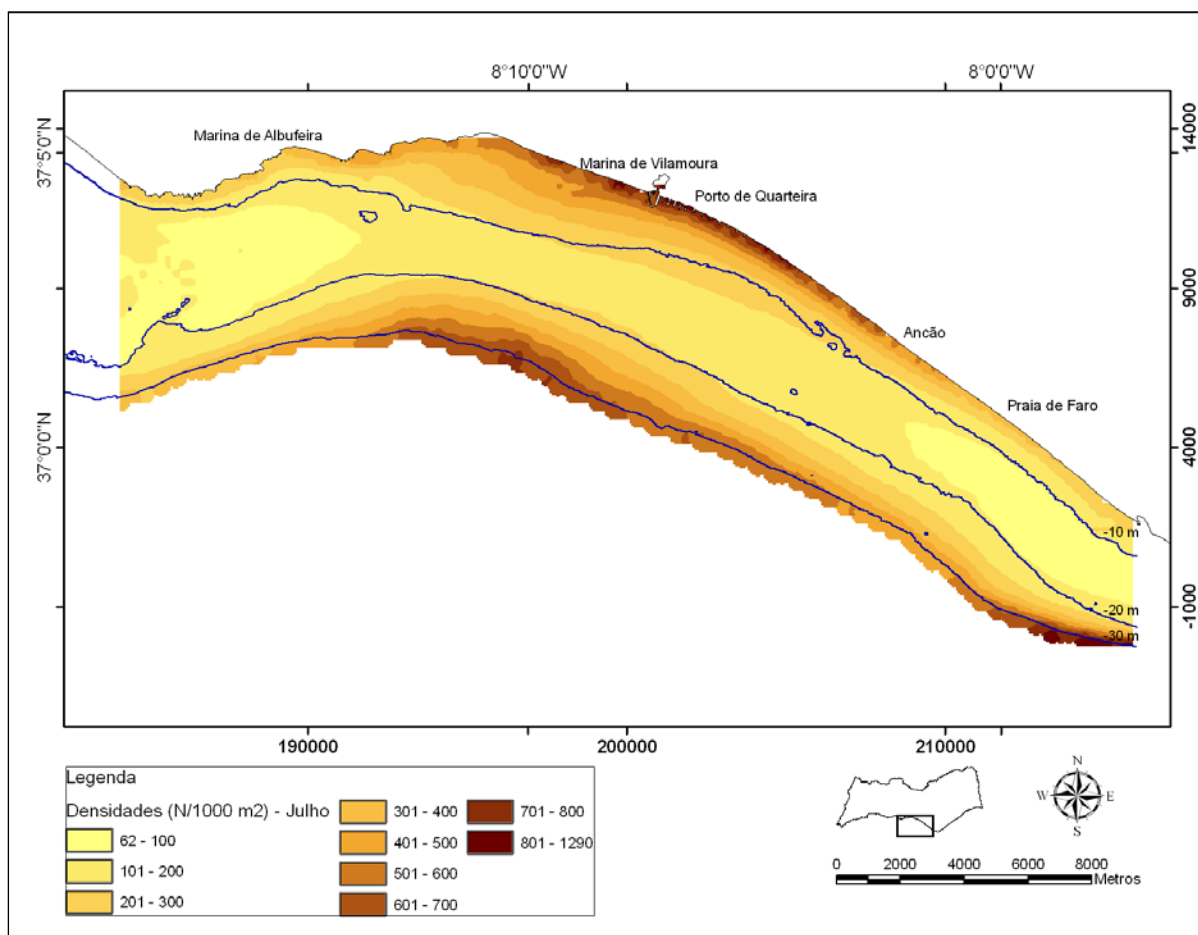


Figura 3.16 - Superfície de previsão da densidade faunística segundo o modelo aditivo generalizado obtido para o mês de Julho (Verão).

## Cenários

A elaboração de cenários é uma das aplicações mais importantes que a modelação de fenómenos biológicos pode oferecer. Assim, no âmbito deste trabalho procedeu-se à elaboração de vários cenários.

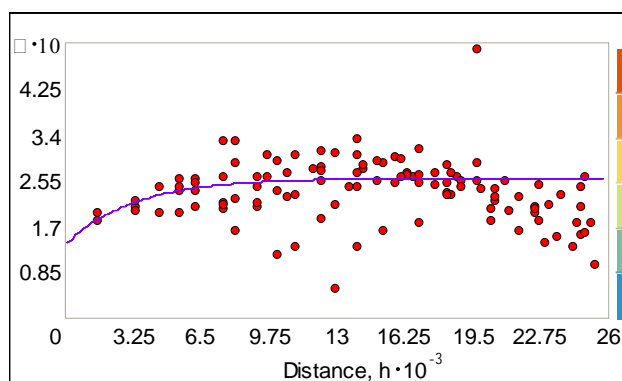
### I - Determinação de “hotspots” de densidades

Na determinação de *hotspots* de densidade foi necessário elaborar primeiramente um modelo binário de presença e ausência, tendo sido utilizado como critério de separação o valor médio obtido para as densidades de arrasto, 431 exemplares por 1000 metros quadrados, considerando-se presença quando a amostra era superior à média e ausência quando era inferior.

O melhor ajuste obtido foi através da técnica de *krigagem* “indicator” e com o modelo exponencial; assim e para a estimativa da probabilidade de obtenção de valores superiores à média das densidades para toda a área de estudo, o modelo obtido foi o seguinte:

$$0.12481 * \text{Exponential}(9718.6) + 0.13518 * \text{Nugget}$$

Utilizaram-se doze intervalos de distância (*Lags*), cada um deles com um comprimento de 2140 metros. Estes valores permitem uma abordagem de praticamente toda a área de estudo visto que cobrem cerca de 25 mil metros, tendo o variograma sido calculado com pares até esta distância máxima (Figura 3.17). A análise do semi-variograma indica que o alcance do mesmo é de 9750 metros, após esta distância já não existe correlação entre os pares de pontos.



**Figura 3.17 - Semi-variograma obtido na elaboração do modelo geoestatístico. Os pontos a vermelho representam os pares de valores, distância (*distance*) em metros.**

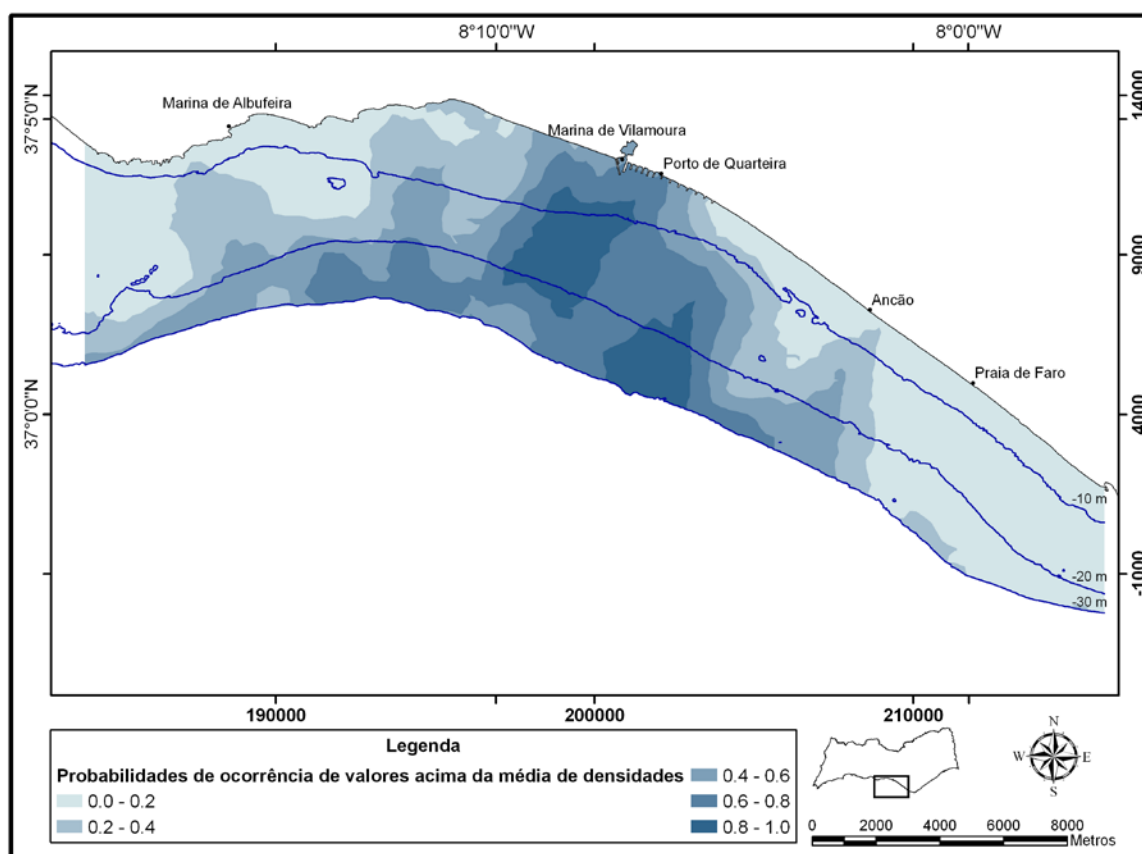
Os valores dos erros obtidos na predição do modelo geoestatístico “indicator” encontram-se na Tabela 3.12. Estes valores indicam a existência de um bom ajuste do modelo, com os valores da média dos erros abaixo da milésima e a raiz quadrada média standardizada do erro igual a 1 e o erro padrão médio e a média standardizada praticamente iguais.

**Tabela 3.12 - Valores obtidos para os erros do modelo geoestatístico ajustado.**

Parâmetros	Valores
Média	0.0005236
Raiz Quadrada Média	0.4069
Erro Padrão Médio	0.4067
Média Standartizada	0.001615
Raiz Quadrada Média Standartizada	1

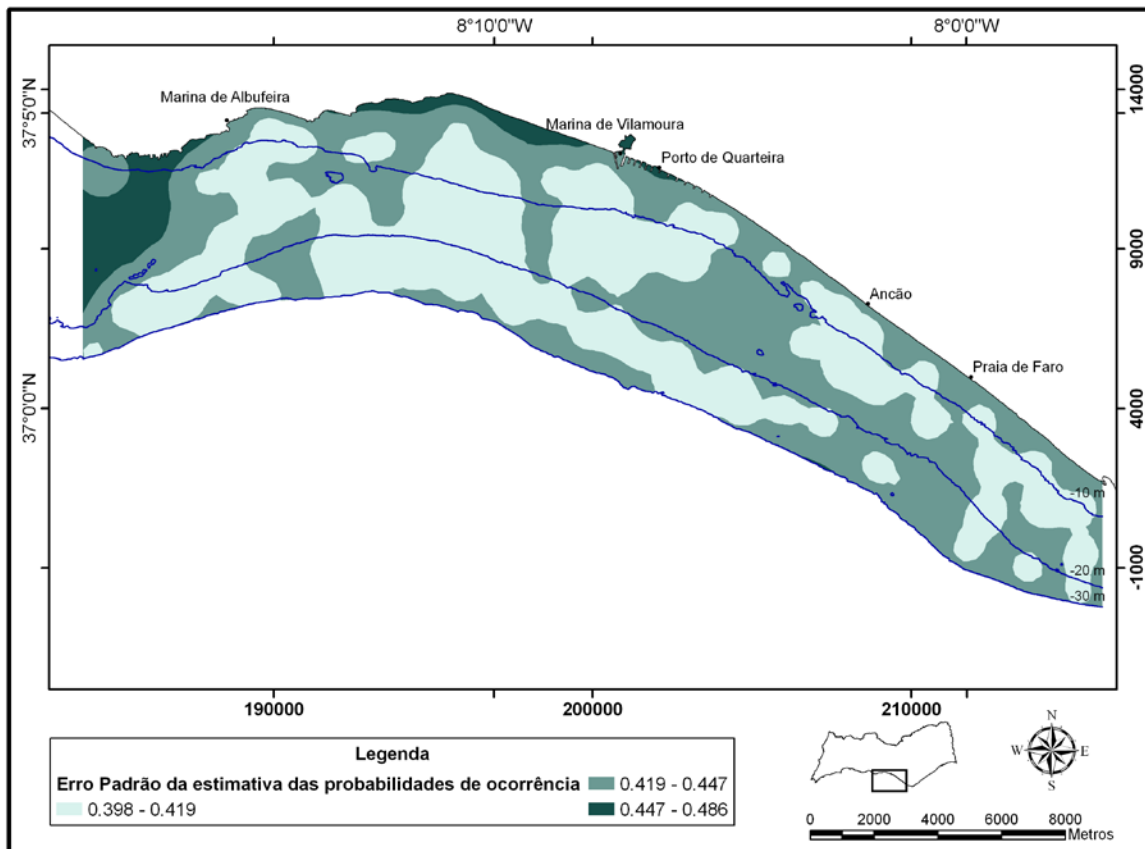
A expressão gráfica do modelo obtido para a determinação da probabilidade de obtenção de valores acima da média das densidades encontra-se na Figura 3.18.

O padrão obtido é muito semelhante aos obtidos para as densidades pelo método de krigagem, principalmente no que se refere às probabilidades mais elevadas. Deste modo, verifica-se que somente a parte central da zona de estudo, em frente a Vilamoura, apresenta uma probabilidade superior a 50% de obter valores de densidade superiores a 431 indivíduos por 1000 metros quadrados, praticamente metade da área de estudo tem probabilidades inferiores a 50%.



**Figura 3.18 - Superfície de previsão da probabilidade de obtenção de valores superiores à média da densidade, segundo o modelo geostatístico obtido.**

O erro padrão da probabilidade apresenta um intervalo de valores reduzido (Figura 3.19), entre 0,389 e 0,447 para quase toda a área de estudo. No entanto, estes valores poderão ser considerados algo elevados para a estimativa.

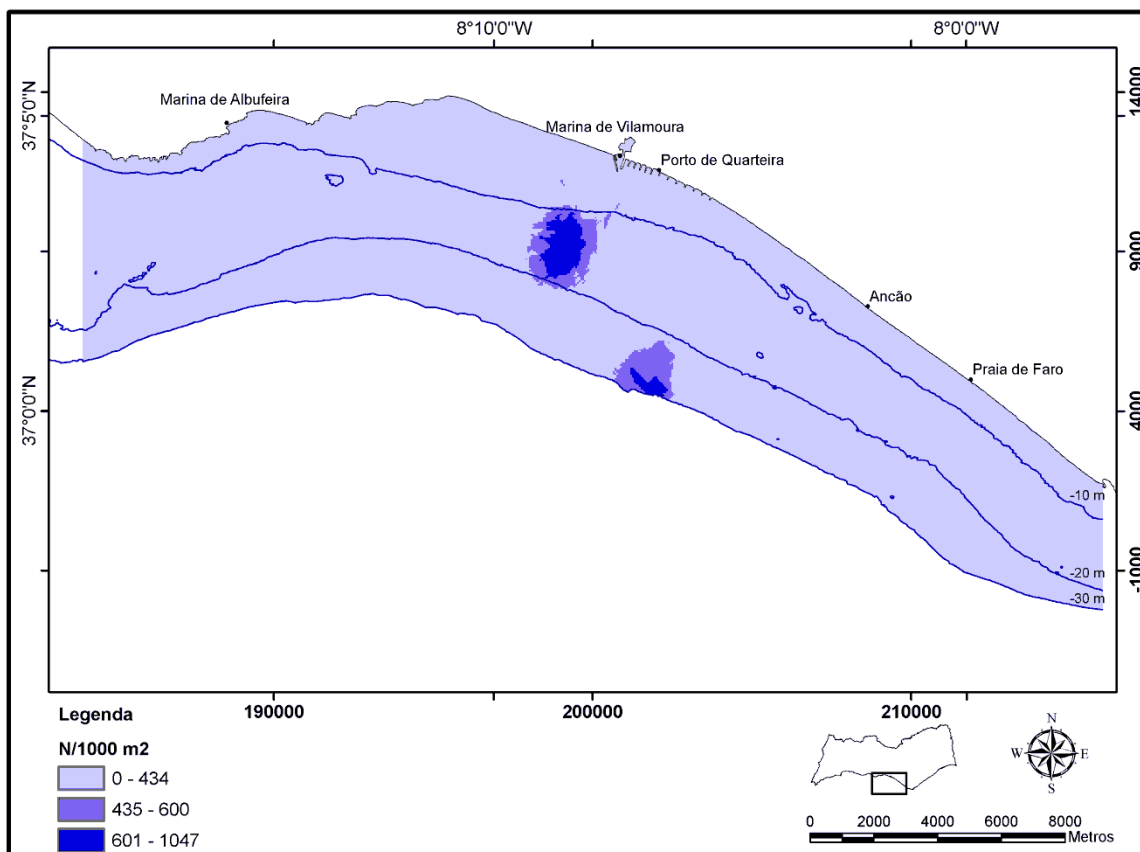


**Figura 3.19 - Superfície de previsão do erro padrão para a probabilidade de obtenção de valores superiores à média da densidade, segundo o modelo geoestatístico obtido.**

A determinação dos “hotspots” realizou-se em ambiente SIG, para tal utilizou-se o modelo obtido para as densidades e o modelo indicatriz, ambos em formato *raster* com células de 50 metros de lado para toda a área de estudo. O modelo utilizado na elaboração da determinação da superfície para a determinação de “hotspots” foi o seguinte:

$$\text{“Hotspots”} = [ (\text{Modelo de Densidades}) \times (\text{Modelo de Probabilidades}) ] ^ 4$$

A superfície obtida encontra-se na Figura 3.20.



**Figura 3.20 – Superfície de previsão do modelo obtido para a determinação de “hotspots” na área de estudo.**

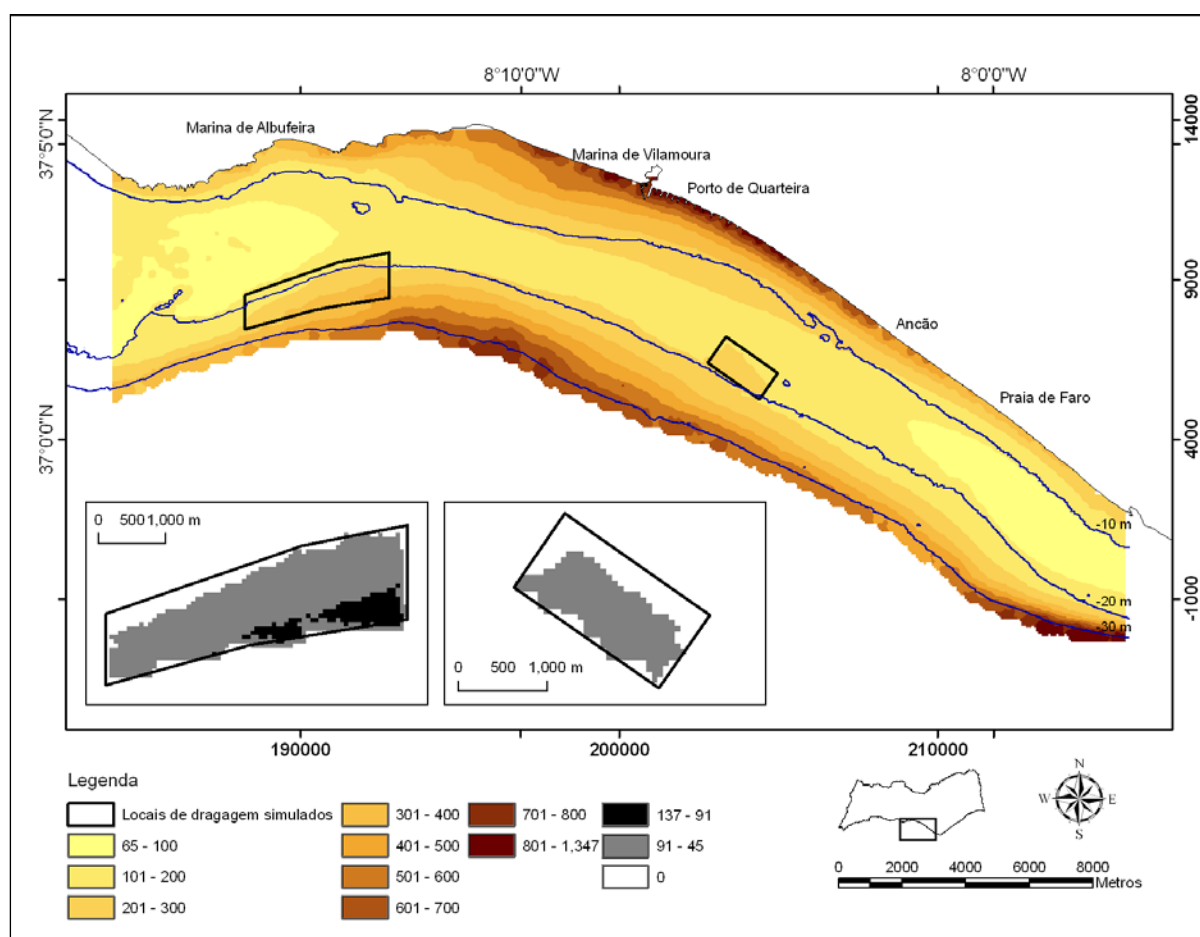
## II - Dragagens

A elaboração do cenário de dragagem teve como objectivo prever as alterações na densidade de organismos epibentónicos após uma modificação da profundidade em duas zonas da área de estudo. Deste modo, procedeu-se à redução das sondas de profundidade delimitadas por essas áreas em 2 metros ficando mais profundas do que as zonas circundantes, pretendendo assim simular uma situação de dragagem costeira.

A simulação recorreu ao modelo GAM apresentado utilizando para tal os 3250 pseudo pontos de amostragem estando desta vez alterada a profundidade dos locais circunscritos pelas áreas delimitadas para simulação. As densidades assim obtidas foram mapeadas em ambiente SIG, segundo as técnicas anteriormente descritas, para uma melhor interpretação e análise (Figura 3.21).

Os resultados da simulação de duas áreas de dragagens na área de estudo indicam a existência de ganhos, principalmente em relação à área oeste. De facto, o ganho de densidades variou entre 45 e 137 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>, indicando que a variação da profundidade provocada por uma situação de dragagem poderá alterar as densidades presentes num determinado local.

O local simulado a oeste na área de estudo teve um ganho de densidade de 37,5% ( $\pm 1\%$ , DP) razoavelmente superior ao registado na zona simulada a este, 31,1% ( $\pm 8,4\%$ , DP). Comparando as densidades existentes antes e depois da realização da dragagem, elas são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), tanto no local de maiores dimensões (oeste) como no de menores (este).

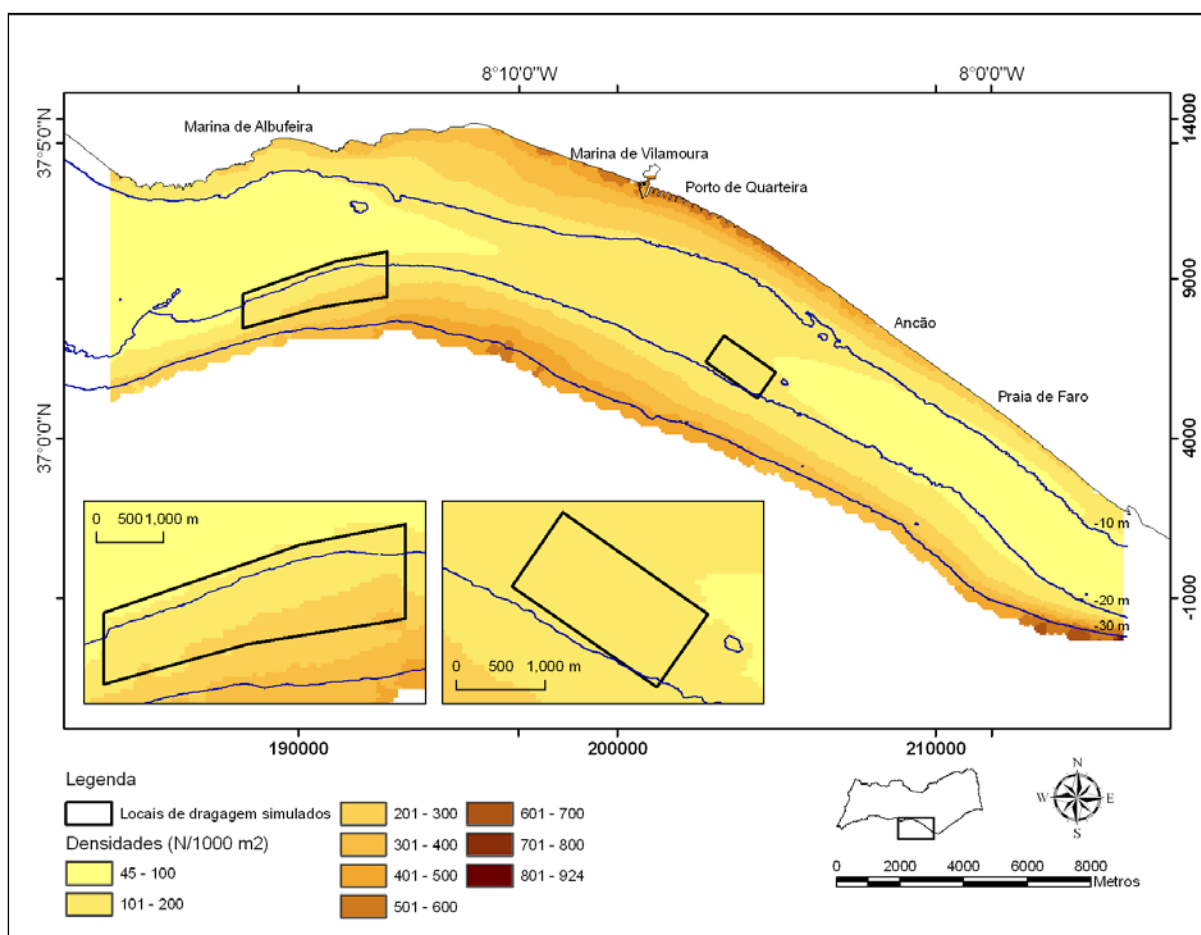


**Figura 3.21 – Resultados do modelo GAM de simulação de duas situações de dragagem; as duas imagens mais pequenas representam o ganho de densidade em cada uma das áreas (escalas mais à direita da legenda com gradientes entre preto e branco).**

Devido ao facto de as dragagens puderem ocorrer em épocas diferentes do ano e para potenciar esta análise, foi feita uma simulação para a realização das dragagens nos

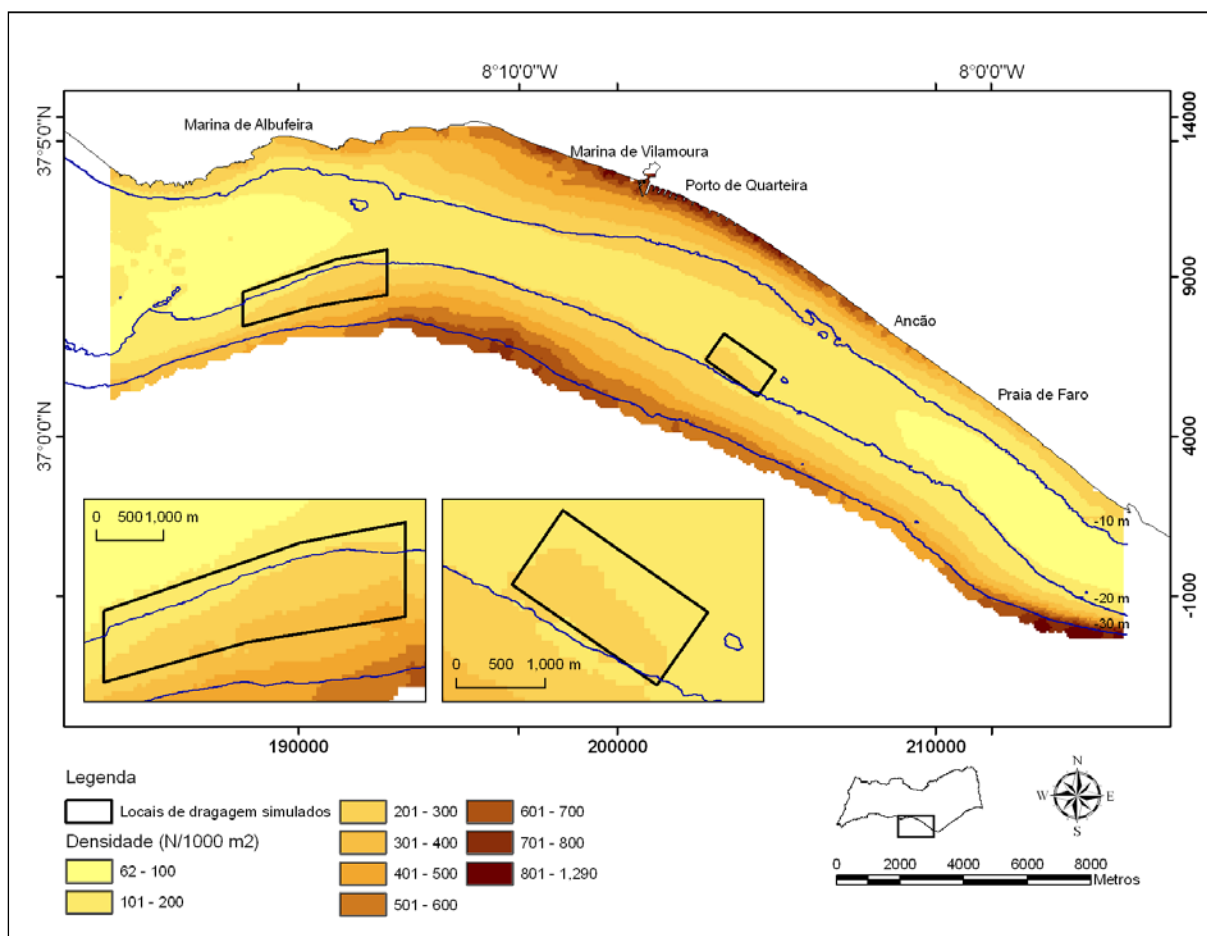
mesmo locais e com a mesma profundidade da simulação geral mas utilizando novamente os meses de Fevereiro e de Julho para simular as menores e as maiores abundâncias mensais do resultado do modelo GAM.

O mês de Fevereiro é o que apresenta o menor impacto das dragagens. A Figura 3.22 indica um acréscimo nas duas zonas de simulação quando se compara com o modelo sem dragagem de Fevereiro (Figura 3.15). A zona oeste passou a ser em grande parte dominada pela classe de densidade 101 a 200 ( $N/1000\ m^2$ ) e pela classe seguinte, fruto do aumento de 48 ( $\pm 14,7$ , DP) exemplares por  $1000\ m^2$ , tendo a classe de menor densidade praticamente desaparecido desta área. Na zona de simulação a este, existiu uma perda média de densidade de 36 ( $\pm 6,3$ , DP) exemplares por  $1000\ m^2$ , contudo manteve-se praticamente inalterada em termos de classificação, na classe de densidade 101 a 200 ( $N/1000\ m^2$ ). Assim o impacto previsível nesta altura do ano seria superior na zona mais a oeste.



**Figura 3.22 - Resultados do modelo GAM de simulação de duas situações de dragagem no mês de Fevereiro; as duas imagens mais pequenas representam uma ampliação das duas áreas em questão.**

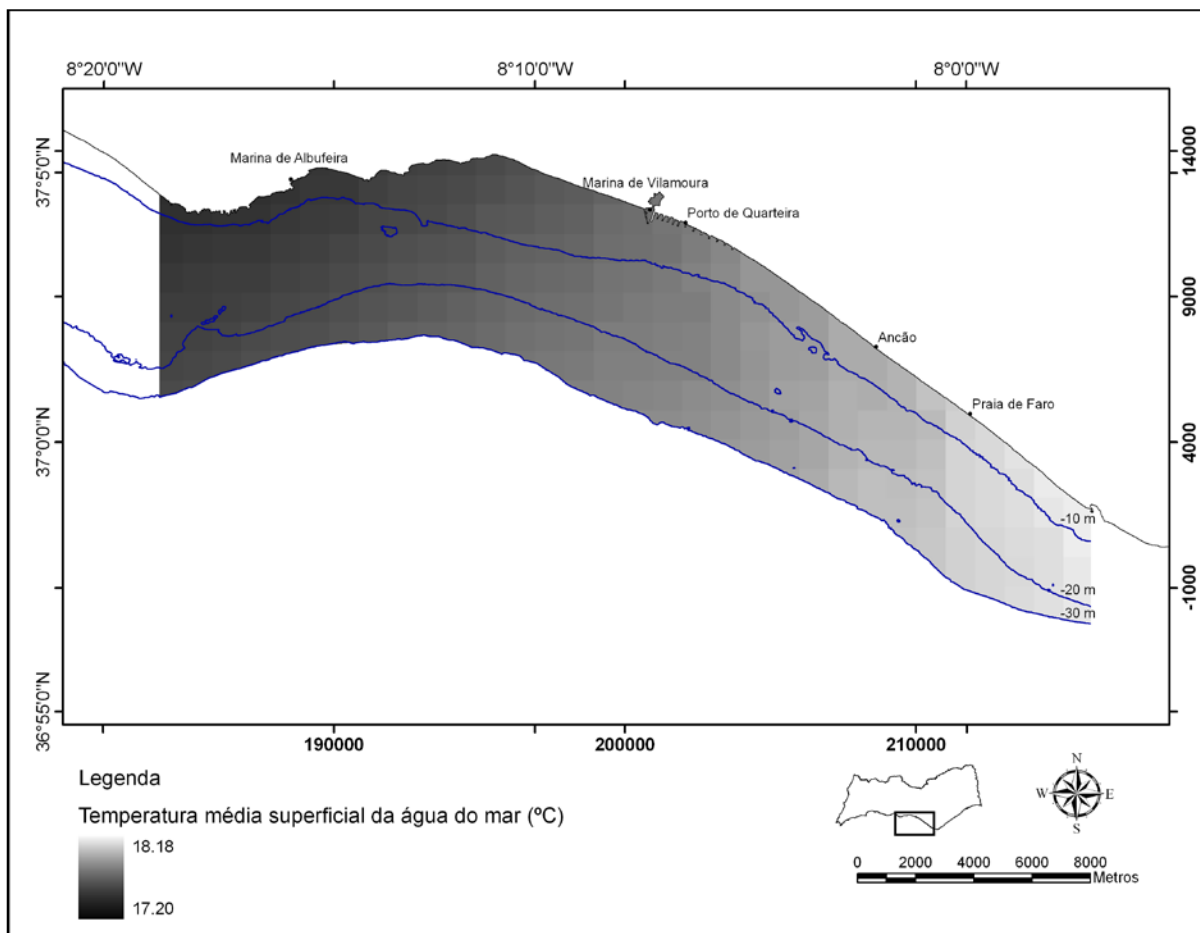
A simulação de uma situação de dragagem no mês de Julho (Figura 3.23) indica que na zona este, na parte mais a sul, existe um impacto positivo visto que aumenta uma categoria de densidades (para 201-300 N/1000 m<sup>2</sup>) em consequência do aumento médio registado nesta área de 50 (±8,7, DP) exemplares por 1000 m<sup>2</sup>. Em relação à zona oeste, o impacto das dragagens é maior, traduzido por um aumento médio superior, 67 (±20,5, DP) exemplares por 1000 m<sup>2</sup>. Verifica-se que nesta área as classes de densidades mais elevadas deslocam-se para norte, passando esta a ter três classes de densidades, que variaram entre 101 e 400 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.23 - Resultados do modelo GAM de simulação de duas situações de dragagem no mês de Julho; as duas imagens mais pequenas representam uma ampliação das duas áreas em questão.**

### **III - Aumento da Temperatura superficial da água do mar**

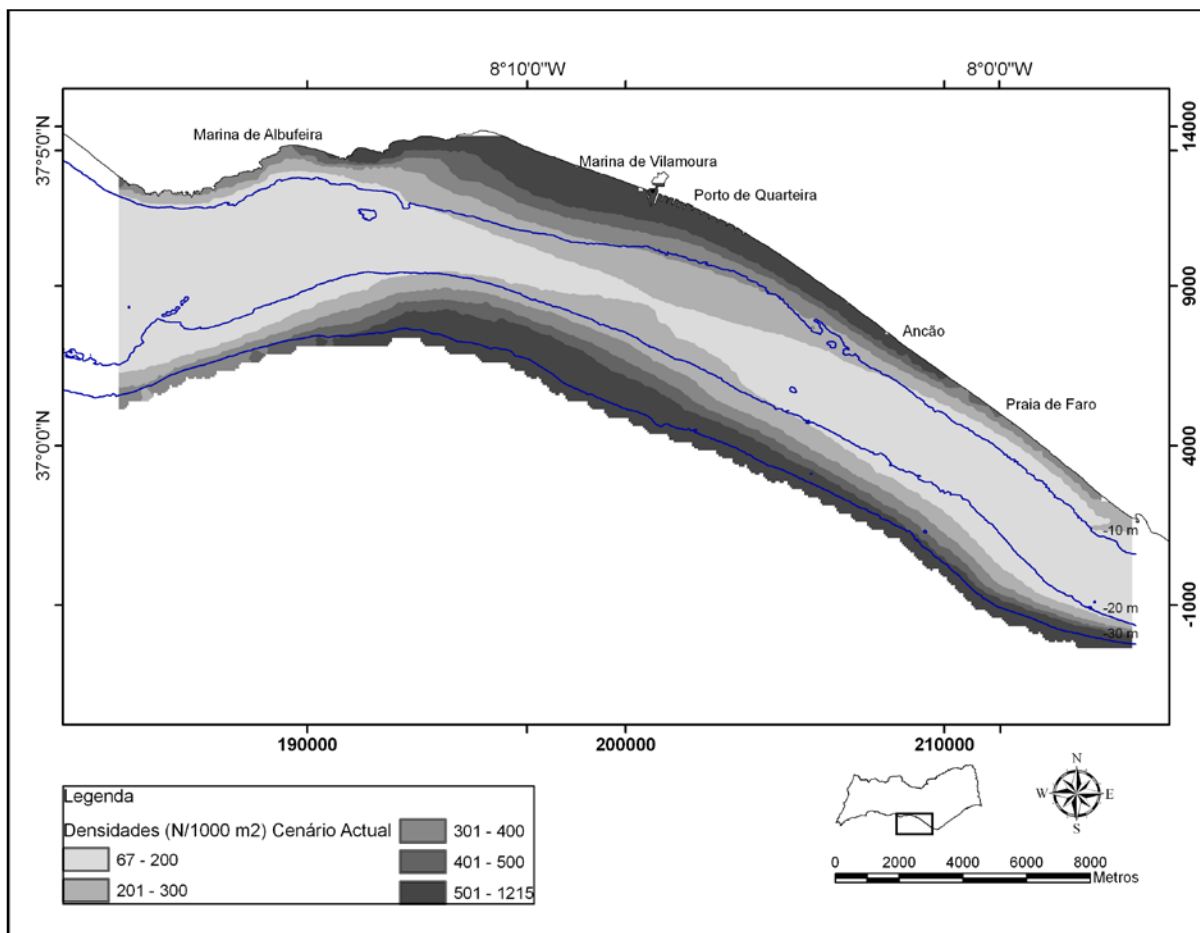
A realização do cenário do aumento da temperatura superficial da água do mar implicou a obtenção das temperaturas superficiais médias da água do mar na costa algarvia, os dados disponíveis referem-se ao período entre 1961 e 1990 publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica e somente para o Cabo de Santa Maria, próximo do extremo este da área de estudo, e a Praia da Rocha, a oeste da área de estudo. Assim e dado que os referidos dados não estavam actualizados e também não poderiam ser representados em termos de superfícies, e deste modo ser integrados em ambiente SIG, optou-se por utilizar as imagens de satélite com as temperaturas médias mensais entre os anos de 2000 a 2005. A partir desta informação foi possível calcular o valor médio da temperatura superficial da água do mar para cada ponto fornecido pela imagem de satélite. A interpolação para toda a área de estudo foi efectuada utilizando a técnica IDW para uma malhagem de 1000x1000 metros, visto que os pontos de satélite distam entre si 4 km. O resultado final desta interpolação encontra-se na Figura 3.24.



**Figura 3.24 - Representação da variação da temperatura média da água do mar superficial entre 2000 e 2005.**

A informação referente à temperatura média da água do mar para o período entre 2000 e 2005 foi incorporada nos 3250 locais de pseudo-amostragem e o modelo GAM obtido foi novamente realizado, utilizando desta vez a variável temperatura na sua estrutura.

As densidades obtidas através desta simulação (Figura 3.25) indicam que a gama de valores varia entre 65 e 1215 (N/1000 m<sup>2</sup>), sendo o padrão de distribuição da densidade muito semelhante ao anteriormente obtido, com uma forte dominância em toda a área de estudo de densidades até 200 exemplares por 1000 m<sup>2</sup>.

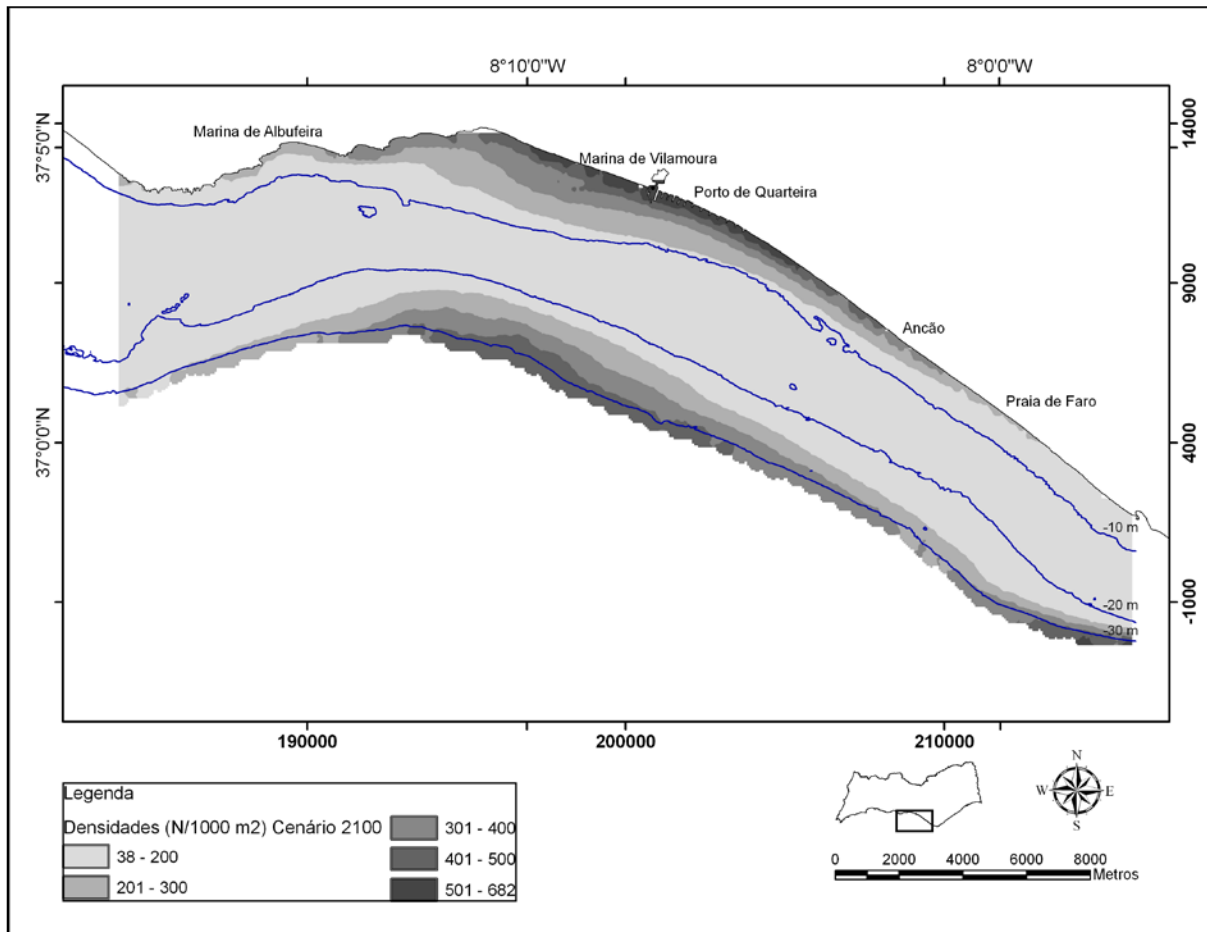


**Figura 3.25 – Simulação do modelo GAM obtido utilizando as temperaturas médias superficiais da água do mar entre 2000 e 2005.**

O cenário do impacto do aumento da temperatura superficial da água do mar foi realizado através de um incremento de 4,5 °C aos valores previamente obtidos da temperatura média superficial da água do mar na área de estudo entre 2000 e 2005.

A estimativa das densidades foi efectuada com o modelo GAM previamente obtido e já descrito, estando a sua representação gráfica na Figura 3.26.

A classe de densidades que domina praticamente toda a área de estudo encontra-se entre os 38 e os 200 (N/1000 m<sup>2</sup>), somente na zona central menos profunda é possível encontrar densidades mais elevadas, e nas partes mais profundas, perto da batimetria dos 30 metros.



**Figura 3.26 - Simulação utilizando o modelo GAM obtido para um aumento de temperatura média da água do mar de +4,5°C.**

A quantificação das perdas de densidade com o aumento da temperatura superficial do mar foram efectuadas em ambiente SIG, utilizando a ferramenta “raster calculator” da extensão “Spatial Analyst”, e consistiu no cálculo da diferença entre a situação com a temperatura média menos a temperatura de cenário.

Foi possível verificar que grande parte das perdas de densidade situam-se entre 26,5 e 114,3 (N/1000 m<sup>2</sup>) principalmente entre as batimétricas dos 10 e dos 20 metros de profundidade, podendo estender-se a maiores ou menores profundidades, mas já com pouca expressão. As maiores perdas ocorrem ou junto à costa ou então na parte mais profunda (Figura 3.27).

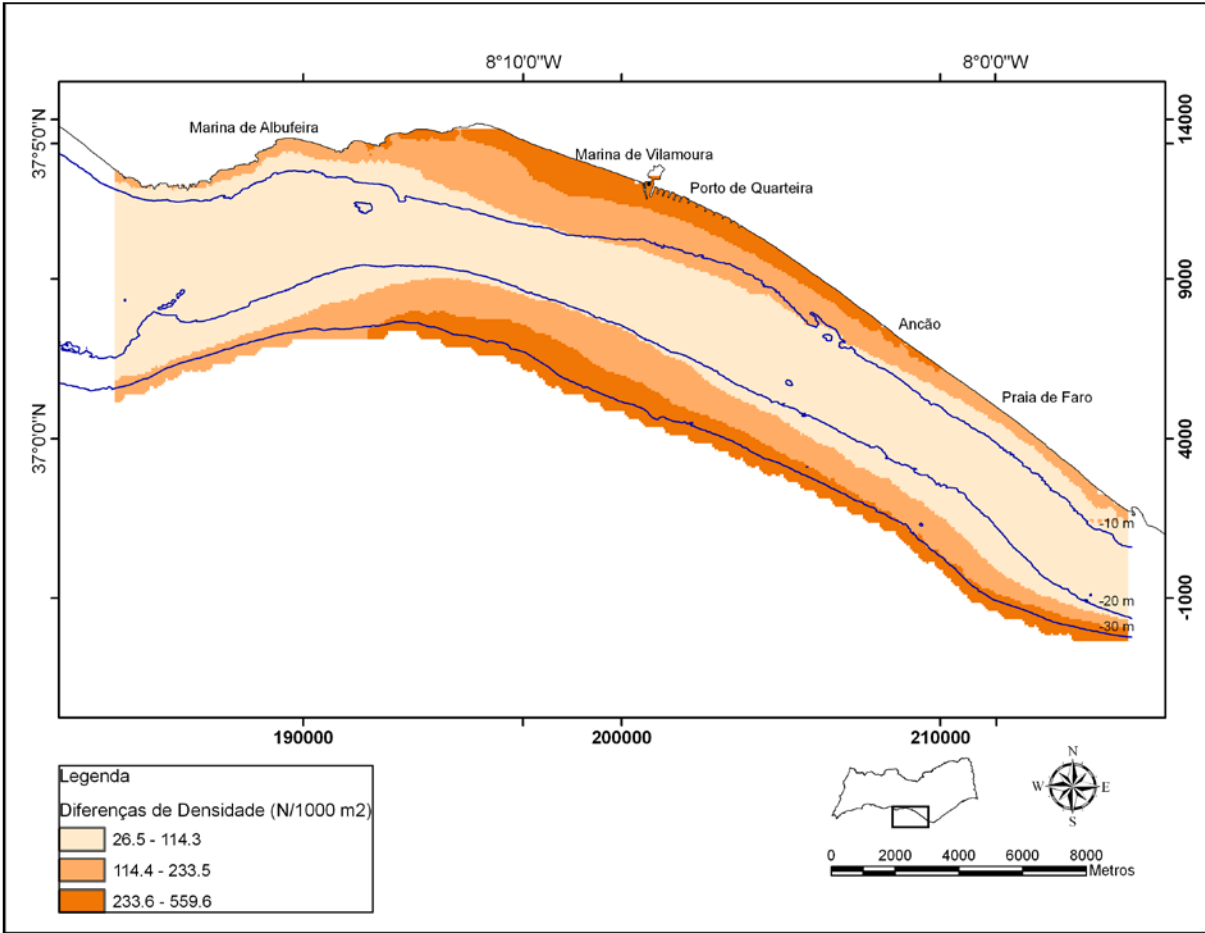


Figura 3.27 – Diferenças de densidade obtidas após a simulação, para um aumento da temperatura média superficial da água do mar de +4,5°C.

## 4. Discussão

A análise dos resultados deste trabalho deve ter sempre presente o conceito de escala. A escala utilizada não permite a identificação de pequenos padrões ou mesmo a existência de pequenos aglomerados de densidades que possam existir na área de estudo, devendo por isso este conceito estar sempre presente na interpretação das superfícies de previsão apresentadas. Outra limitação bastante importante é o facto de as amostragens biológicas terem utilizado o arrasto de vara, uma arte selectiva, em parte devido ao seu manuseamento e outra parte devido à sua concepção. Assim, os modelos apresentados aplicam-se somente à parte da fauna que se encontra vulnerável à captura por esta arte nas circunstâncias descritas e que, obviamente, se encontrava disponível nos locais amostrados.

As densidades, obtidas pelas amostragens, foram praticamente idênticas na zona de Faro e de Albufeira, sendo estas áreas em termos de substratos bastante diferentes: a zona de Albufeira apresenta mais enclaves rochosos e rocha subaflorante e areia grosseira, ao contrário da zona de Faro que é dominada pela existência de areia média ou fina indicando que não será o tipo de substrato (excluído o rochoso, não amostrado) a influenciar as densidades obtidas. As maiores densidades encontram-se na zona central de estudo e nas profundidades mais elevadas. É nesta zona central que existe a única fonte de água doce e nutrientes significativa, a ribeira de Quarteira, que poderá contribuir para a existência de maiores densidades. Por outro lado, as maiores profundidades permitem a existência de comunidades mais estáveis, e por isso com maiores densidades dado que não estão muito sujeitas a fenómenos de hidrodinamismo extremo e a actividades antropológicas lesivas (ex. pesca por ganchorra e poluição). Foi ainda possível verificar a existência de sazonalidade nos valores de densidade, contudo sem diferenças muito importantes, excepto em certos locais caracterizados pelo aparecimento de grandes densidades em áreas relativamente pequenas. Estas variações indicam uma ligação da variação da densidade a factores associados às alterações sazonais como seja a variação da temperatura da água e dos nutrientes disponíveis, assim como as diferenças nos padrões hidrodinâmicos que de um modo geral caracterizam a costa algarvia. Por outro lado, as situações de recrutamento ou de reprodução podem contribuir para a existência dos locais com densidades bastante elevadas.

Com a análise geoestatística não se tentou modelar os enclaves rochosos, por duas ordens de razão: não representavam uma parte importante do substrato presente na área

de estudo, e tinham sido amostrados por uma arte diferente, censos visuais, tornando, à partida, difícil a sua standardização para posterior comparação e por isso excluídos deste trabalho. De facto, esse tipo de substrato iria, ainda mais, estar sujeito aos problemas mais comuns em amostragens biológicas, nomeadamente a existência de aglomerados, principalmente de peixes, mas não só, e à variação no tempo da distribuição espacial (Petitgas, 2001). No que respeita aos substratos móveis pretendeu-se anular a variação temporal de grande escala (Sazonal) através de um planeamento eminentemente sazonal, de modo a se utilizar somente valores médios e modelando a variação sazonal como microvariação pontual.

A análise geoestatística identificou um claro padrão de distribuição da densidade na área de estudo. De facto, as densidades são mais elevadas na zona central e também a maiores profundidades. Tal facto poderá estar relacionado com a existência da única fonte de água doce, ribeira de Quarteira, em toda a costa da área de estudo, sendo esta responsável por inputs orgânico que irão contribuir para a existência de grandes densidades nesta área. De facto, uma análise aos dados originais, permite concluir que as elevadas densidades registadas devem-se principalmente à existência de aumentos exponenciais na Primavera, que poderão ser explicados pelos referidos inputs que ocorrem principalmente durante o período de cheias do Inverno.

A modelação através de métodos aditivos generalizados é um processo complexo e bastante moroso, tendo apresentado como principal problema o de não permitir a existência de valores em falta em nenhuma das variáveis explicativas. De facto, esta limitação condicionou consideravelmente o número de amostras disponíveis para a realização desta modelação. Outro dos problemas que sempre se colocam quando se pretende realizar este tipo de trabalhos é a existência de dados ambientais que de algum modo possam estar associados à variável em estudo, em Portugal não existem bases de dados geográficas disponíveis gratuitamente, o que também terá limitado este processo de modelação.

Segundo Francis *et al.* (2005) a utilização do GAM na identificação de variáveis ambientais é pouco comum e deverá ser rotina no futuro. Este trabalho representa um contributo para a determinação dessas variáveis na costa algarvia.

Das variáveis explicativas utilizadas, a profundidade foi a mais importante na explicação das densidades na área de estudo. Estudos semelhantes, mas que pretendiam modelar os habitats para peixes, indicam também esta variável como a mais importante ou das mais importantes (Colloca *et al.*, 2003; Le Pape *et al.*, 2003; Leathwick *et al.*, 2006), condicionando esta as distribuições obtidas. Ao longo da costa Portuguesa, esta variável, em conjunto com a latitude, é descrita como uma das que melhor explicam a variabilidade

da diversidade marinha (Sousa *et al.*, 2005), deste modo, é de considerar que também poderá ser um factor importante para as densidades observadas.

A temperatura não foi uma variável significativa no modelo GAM, ao contrário do que seria expectável, dado que esta é considerada o factor ambiental que tem mais efeito nos peixes e nas pescas, afectando a sua distribuição (Zheng *et al.*, 2002). Tal poderá se dever ao reduzido número de peixes capturados e a sua consequência no contributo para a densidade, e ainda pela reduzida mobilidade das espécie capturadas e por isso certamente menos influenciadas pela temperatura. Por outro lado, os valores de temperatura utilizados referiam-se à temperatura superficial que poderá não ser a mesma a que os as capturas estavam sujeitas, principalmente em alturas em que existe menos agitação e a termoclima está presente (Verão).

A salinidade condicionou as densidades principalmente para os valores mais elevados, levando à diminuição das densidades obtidas, Caeiro *et al.* (2005), indica que as comunidades bentónicas são condicionadas, entre outros factores, pela salinidade. No entanto, Attrill (2002 *in* Francis *et al.*, 2005) indica que a variação da salinidade é uma variável melhor do que os valores absolutos da salinidade para prever a diversidade de invertebrados. Este factor não foi investigado no presente trabalho devido ao modo como as variáveis ambientais foram registadas, algo a ter em consideração em futuros trabalhos de campo.

As variáveis espaciais, latitude e longitude, são utilizadas com duplo sentido, por um lado possibilitam uma melhor utilização em sistemas de informação geográfica e por outro possibilitam a expressão de factores que de algum modo não tenham sido incluídos como variáveis explicativas, e que possam influenciar a distribuição espacial da densidade. Leathwick *et al.* (2006) no seu trabalho sobre a variação da riqueza específica de peixes demersais indica a preferência da utilização de variáveis ambientais em detrimento de variáveis geográficas em ambientes marinhos, referindo que poucas variáveis terão uma expressão geográfica, principalmente com o aumento da profundidade. No presente trabalho, contudo, estes pressupostos não se aplicarão na sua totalidade, por um lado devido à escala reduzida a que este foi executado, e por outro devido à profundidade máxima atingida, podendo ainda a variável latitude expressar a influência de, por exemplo, factores hidrodinâmicos, que de outro modo não poderiam ser incluídos.

A produção de um ecossistema influencia a distribuição (Leathwick *et al.*, 2006), por isso a falta de um indicador de produção primária, como a concentração de clorofila a, poderá ajudar a explicar a componente residual do modelo. De facto vários são os trabalhos que utilizam esta variável (Leathwick *et al.*, 2006). A área de estudo é uma zona com

influência de cursos de água doce que também colocam nutrientes na zona costeira, como as maiores densidades foram encontradas em frente às zonas destes inputs, um indicador da produção primária poderá trazer melhorias num modelo de distribuição da densidade. Também, o hidrodinamismo influencia a distribuição das espécies bentónicas, Freeman e Rogers (2003) indicam que os ofiurídeos foram encontrados somente em zonas com velocidades junto ao fundo baixas, e estes foram um dos principais grupos em número no presente trabalho. Contudo, as variáveis associadas ao hidrodinamismo, velocidade e direcção da corrente, não são fáceis de obter, principalmente ao mesmo tempo que as amostragens biológicas.

Petitgas (2001) indica a existência de duas classes de covariância, espacial e temporal. É na covariância espacial, onde segundo o autor ocorrem variáveis espaciais como a latitude, profundidade e temperatura, que, ao serem utilizadas como variáveis explicativas no modelo GAM, se irá encontrar a explicação para a semelhança geral entre as duas fontes de previsão apresentadas, a geoestatística e os modelos aditivos generalizados. Contudo, no modelo GAM apresentado estiveram ainda incluídas variáveis temporais, que segundo o mesmo autor estas muito provavelmente não iriam contribuir para o decréscimo do erro da variância. No entanto, ressalva, o incremento do uso de métodos como o GAM poderá trazer luz sobre este aspecto, tal como se pode verificar no presente trabalho. A principal diferença que existe entre o método geoestatístico apresentado e o método aditivo generalizado é que o primeiro é estimado somente no ambiente geográfico e o segundo em espaço ambiental (Katsanevakis, 2007).

Guisan e Zimmermann (2000) referem que os modelos não podem ser testados em verdadeiros ou falsos, mas como fornecendo hipóteses testáveis para problemas. Assim, o uso do bootstrap permite verificar a estabilidade do modelo e avaliar a sua capacidade de previsão. A técnica bootstrap utilizada indica o erro que existe na estimação dos coeficientes, verificando-se que o erro mais importante ocorre na origem, sendo um claro indicador da instabilidade inicial das densidades, e no fundo demonstrando uma parte importante da variação da densidade que apresenta um grande erro no modelo apresentado. Os erros obtidos pelo bootstrap para os outros coeficientes indicam boa estabilidade, principalmente no que se refere às variáveis com maior peso, reforçando a capacidade das mesmas para a previsibilidade das densidades na área de estudo.

Uma fonte de erro que pode ser importante em processos de modelação que combinem técnicas estatísticas e sistemas de informação geográfica é a combinação de camadas heterogéneas em ambiente SIG (Guisan e Zimmermann, 2000), tendo sido uma preocupação constante ao longo deste trabalho. As camadas resultantes de fonte exteriores ao trabalho, batimetria e sedimentos, foram intensamente verificadas e calibradas de modo

minimizar estes erros, assim como a definição à partida das quadrículas das camadas raster utilizadas na previsão espacial dos modelos estatísticos.

A elaboração de cenários através de modelos espaciais está sempre sujeita a críticas. De facto, a interpretação da exactidão do modelo é subjectiva (Guisan e Zimmermann, 2000), podendo afirmar-se que o mesmo satisfaz quando as suas previsões são parcialmente ou totalmente em acordo com os padrões observados, devendo o modelo ser criticado somente no âmbito para o qual está a ser utilizado.

A multiplicação e combinação entre presença e ausência de valores superiores à média das densidades com as densidades propriamente ditas indica as zonas óptimas para a existência de densidades mais elevadas, reflectindo assim os factores que serão importantes para a sua existência, tal como o referido por Koubbi, *et al.* (2006). A definição de hotspots é normalmente associada à biodiversidade, podendo esta ser analisada de formas variadas, a nível das espécies, endémicas e/ou ameaçadas, das populações ou mesmos dos processos ecológicos (Myers *et al.*, 2000). Neste trabalho com a abordagem através das abundâncias, pretendeu-se acima de tudo identificar a técnica mais correcta para a sua identificação, podendo a mesma ser aplicada para o número de espécies presentes ou para espécies com estatuto de proteção, a título de exemplo. Assim, e apesar desta diferença fundamental, a identificação de zonas de grandes densidades permitirá contribuir para uma identificação mais precisa dos hotspots, porque permitirá manter as condições essenciais do ecossistema, contribuindo certamente para a conservação global das espécies (Ferrier, 2002).

A simulação de áreas de dragagens na zona de estudo teve como principal objectivo responder à pressão que cada vez mais existe para a utilização da costa algarvia como zona de dragagem, sendo estas promovidas para o reabastecimento de praias, como Vale de Lobo por exemplo, ou para exploração comercial destes inertes, na construção civil ou em indústrias associadas.

No processo de simulação é importante que as alterações de profundidade introduzidas não saiam do intervalo de profundidades em que o modelo foi ajustado, e os modelos generalizados aditivos devem ser utilizados para interpolação, sendo que as situações de extrapolação devem ser efectuadas com cuidado. No presente caso, as variações introduzidas encontravam-se perfeitamente dentro da gama de valores observadas.

As simulações obtidas pretendem indicar a situação após a dragagem, durante todo o processo de dragagem praticamente a totalidade da fauna bentónica existente é removida, sendo a recolinização efectuada a partir das zonas circundantes, pelo que é de

esperar a mesma composição faunística na fase final de recuperação, após passar por toda a sequência de espécies. Assim, a alteração que se irá manter após a dragagem será a alteração da cota de areia anteriormente existente, as áreas simuladas encontram-se abaixo dos 15 metros de profundidade, razão pela qual só temporais importantes podem provocar alterações no sedimento. O cenário de dragagens refere-se à nova comunidade bentónica já instalada na local dragado.

O impacto das dragagens é significativo, implicando ganhos de densidade consideráveis, sendo estas mais importantes nas áreas mais profundas, e na zona mais a oeste, do que nas zonas menos profundas. De facto, a profundidade contribuí negativamente para a densidade até aos 15 metros; após esta profundidade a tendência inverte-se, no entanto é só a partir dos 23 metros é que existe uma contribuição positiva da profundidade para a densidade. Assim, ao aumentar a profundidade de um local com a realização de uma dragagem, e principalmente após os 15 metros, os valores de densidade começaram a aumentar em relação ao estado anterior.

O impacto das dragagens no mês de Fevereiro ou no mês de Julho são diferentes. De facto, as densidades são mais elevadas em Julho, razão pela qual o impacto nesta altura do ano é mais importante, traduzindo-se num maior aumento das densidades. Contudo a magnitude dos impactos em relação às densidades pré-existentes é sempre da mesma ordem de grandeza, independentemente da época do ano considerada ou da área simulada em questão.

O modelo obtido é uma valiosa ferramenta de previsão da tendência esperada para um local que tenha sido submetido a dragagem, e já tenha passado por todo o processo de colonização e sucessões. Contudo, a leitura destes resultados deve ser interpretada com bastante cuidado, dado que no essencial uma dragagem leva à remoção de quase toda a fauna existente no período anterior à mesma, podendo estes resultados ser influenciados por muitos factores. É também importante referir que o facto de se afirmar que existe um aumento das densidades, e somente destas, não pretende absolutamente afirmar que a realização de uma dragagem é um acontecimento benéfico para o meio marinho. Por outro lado, e numa lógica de estudos de impacte ambiental, permitiu identificar um impacte positivo resultante de uma intervenção, um pouco semelhante ao habitat rochoso criado pela construção de uma marina ou de um porto de abrigo, não sendo no entanto razão suficiente para a sua realização.

No fenómeno das alterações climáticas, o aumento da temperatura da água do mar, é normalmente associado ao aumento do nível do mar e não ao aumento da temperatura *per si*. No caso português de análise destas alterações (Santos *et al.*, 2001) foi esta a

perspectiva, contudo, este aumento terá consequências ao nível dos padrões de distribuição das espécies, das suas abundâncias e ainda do surgimento de novas espécies. A realização deste cenário permitiu uma primeira abordagem sobre a tendência das densidades actualmente previstas quando sujeitas ao aumento de temperatura simulado.

A realização do cenário esteve sempre dentro dos limites de temperatura registados e utilizados para a modelação original, assim todo o cenário foi efectuado sem recorrer a nenhuma extrapolação, aumentando o nível de confiança dos resultados.

Contudo, apesar de estar dentro do nicho ecológico das espécies presentes nos valores de densidades, não é possível prever como é que ocorre a adaptação destas espécies a este aumento progressivo da temperatura, visto que não existem trabalhos de campo sobre esta temática. Para além disso, é bastante provável que ocorram novas espécies provenientes de águas mais quentes que passam a incluir esta zona no seu limite de distribuição. De facto, já é possível verificar nas águas algarvias a existência de espécies de peixes que até há pouco tempo não se encontravam registadas, é o caso do *Sparissoma cretensis* (Abecasis *et al.*, 2006) e do *Thalassoma pavo*. As entradas de novas espécies não são contabilizadas neste tipo de modelos, nem tão pouco a capacidade adaptativa das mesmas e das já existentes às variações das condições ambientais, evidenciando ainda mais o carácter estacionário dos modelos GAM, tal como referido por Guisan e Zimmermann (2000) que, apesar de poderem ser utilizados para a realização de projecções, apresentam esta limitação.

No entanto, os resultados desta simulação não deixam dúvidas. Existe uma clara diminuição do padrão das densidades actuais se ocorrer um aumento de temperatura da água do mar daquela magnitude. Assim, e apesar das limitações descritas, que também se encontram noutras aproximações à temática, é de reforçar a necessidade de medidas concretas no combate às alterações climáticas, mas acima de tudo a elaboração de estudos de referência que sirvam de base a projecções mais realistas, assim como de planos de monitorização de espécies/factores chave que permitam a existência de séries temporais consideráveis, que não deixem dúvidas sobre as suas conclusões.

## 5. Conclusões

A modelação de fenómenos biológicos envolve processos de elevada complexidade devido ao grande número de variáveis a considerar. Assim, e apesar dessas dificuldades, as técnicas matemáticas existentes permitem realizar essas abordagens, sendo, contudo, necessário ter sempre presente a complexidade e as limitações que estas apresentam, e deste modo saber utilizar estas ferramentas.

A modelação por métodos geoestatístico utilizando krigagem, apresentou, de um modo geral, uma superfície de previsão representativa da realidade amostrada, e os erros padrões obtidos são ajustados para as escalas das realidades que se pretendia amostrar. A densidade é difícil de modelar pela grande variabilidade que as amostragens apresentaram, sendo a variedade de factores que a influenciam tão grande, que não foi surpresa os resultados de modelação apresentados. Contudo, os principais padrões de distribuição estão devidamente registados no modelo, o que, em conjunto com o erro padrão, permitem modelar a grande variabilidade da densidade.

O processo de modelação geoestatística é um processo dinâmico, e é possível, com base nos resultados obtidos, identificar locais para novos pontos de amostragem, otimizar o plano de amostragem já existente, e ainda voltar a modelar, introduzindo novas variáveis que estejam relacionadas com as variáveis estudadas, através de processos de “co-krigagem”, assim como é ainda possível complementar os modelos obtidos através da introdução de novos dados provenientes de bibliografia.

A modelação por processos aditivos generalizados permitiu uma explicação da variância total observada da densidade observada surpreendente, de facto, não era esperado conseguir obter uma percentagem tão elevada, principalmente devido ao tipo de variável que se pretendia modelar.

Os modelos obtidos representam a realidade amostrada, sendo muitas vezes semelhantes aos obtidos através dos modelos geoestatísticos, o que reforça a representatividade desde modelos em relação às realidades amostradas e que se pretendeu modelar e interpolar para zonas onde, pelos mais variados motivos, não foi possível amostrar.

A modelação por processos generalizados aditivos teve como principal limitação a não existência de muitas variáveis explicativas contínuas em detrimento das variáveis categóricas. Tal facto limitou em muito todo o processo de modelação, mas permitiu

prevenir para que de futuro se tenha em atenção esta limitação. De qualquer modo, as modelações obtidas permitiram explicar partes consideráveis da variância total observada e inserem-se nos critérios normalmente aceites de, apesar de não ser possível uma comparação estatística entre ambos, reforça a representatividade deste modelos, onde as percentagens de explicações dos modelos são semelhantes às obtidas neste estudo. Os modelos obtidos representam a realidade amostrada, sendo muitas vezes semelhantes aos obtidos através dos modelos geoestatístico, o que, apesar de não ser possível uma comparação estatística entre ambos, reforça representatividade destes modelos em relação às realidades amostradas e que se pretendeu modelar e interpolar para zonas onde, pelos mais variados motivos, não foi possível amostrar.

No futuro dever-se-á continuar a utilizar estas duas abordagens, porque permitem uma visão complementar e esclarecedora das variáveis que se pretendem modelar, sendo que a existência de mais variáveis contínuas, tais como a temperatura da água e a clorofila a, entre muitas outras, permitem utilizar os modelos aditivos generalizados com maiores certezas e deste modo passar para o passo seguinte de modelação da reserva ecológica nacional submarina, ou seja, a utilização destes modelos para a realização de vários cenários, onde se incluem naturalmente as dragagem e também, por exemplo, as alterações climáticas, onde será possível determinar como se comportam espacialmente as variáveis em estudo (densidade, por exemplo) quando ocorre um aumento de um grau da temperatura média da água do mar.

Os modelos obtidos no presente estudo pretendem ser um complemento, preenchendo as lacunas de informação, às amostragens de arrastos de vara feitas no âmbito de dois projectos de investigação, não tendo por sido por isso objectivo deste trabalho a elaboração de modelos que pretendessem substituir as amostragens de campo, que se entende serem, de um modo geral insubstituíveis, podendo no entanto ser optimizadas. A combinação dos dois projectos de investigação e a integração dos seus dados nos modelos obtidos permitem ainda uma rentabilidade maior das amostragens efectuadas valorizando deste modo ainda mais os referidos projectos de investigação assim como as equipas envolvidas e ainda, de extrema importância, uma maior valorização do material biológico sacrificado nas amostragens e possivelmente poupado em futuras amostragens nesta mesma área.

Os cenários elaborados, apesar de obterem resultados concretos e quantificáveis, devem ser abordados numa perspectiva de gestão costeira, como um instrumento dessa gestão, devendo ser principalmente interpretados como indicadores de tendências como consequência dos cenários elaborados.

Os cenários devem ser usados numa perspectiva de desenvolvimento sustentável e porque não também para se aplicar uma aproximação por precaução aos problemas que podem ter sido levantados.

Os modelos GAM ao poderem utilizar variáveis espaciais e não espaciais (ex. temporais) apresentam vantagens em relação aos métodos geoestatísticos, no entanto o seu contributo ainda poderá ser melhorado principalmente se combinados com os modelos mistos. Num futuro muito próximo, segundo Zuur *et al.* (2007) a utilização dos modelos aditivos generalizados (GAM) será integrada com os modelos mistos, resultando assim na aplicação de modelos aditivos generalizados mistos (GAMM). Estes métodos tem sido principalmente utilizados na medicina, tal como no início dos modelos GAM, pelo que dentro em breve certamente se irá aplicar estes métodos aos modelos de previsão de distribuição espacial.

Por fim, é impossível deixar de concordar com Guisan e Zimmermann (2000), que referem que a natureza é muito complexa e heterogénea para termos previsões exactas em todos os aspectos do tempo e do espaço a partir de um único modelo, devendo ter sempre este conceito em mente, assim como a necessária humildade para uma correcta utilização dos modelos agora apresentados.

## 6. Referências Bibliográficas

- Abecasis, D.; Bentes, L.; Ribeiro, J.; Machado, D.; Oliveira, F.; Veiga, P.; Gonçalves, J.M.S. & Erzini, K. (2006). "First record of the Mediterranean parrotfish, *Sparisoma cretense* in Ria Formosa (south Portugal)". *JMBA2 - Biodiversity records*.
- Barry, S.C., Welsh A.H. (2002). "Generalized additive modelling and zero inflated count data". *Ecological Modelling* 157: 179-188.
- Bigelow, A.K., Boggs, C.H., He, X. (1999). "Environmental effects on swordfish and blue sharks catch rates in the U.S. North Pacific longline fishery." *Fisheries Oceanography* 8: 178-198.
- Burrough, P.A. (2001). "GIS and geostatistics: essential partners for spatial analysis". *Environmental and Ecological Statistics*, 8: 361-377.
- Caeiro, S., Costa, M.H., Goovaerts, P., Martins, F. (2005). "Benthic biotope index for classifying habitats in the sado estuary: Portugal." *Marine Environmental Research*, 60: 570-593.
- Clarke, E.D., Spear, L.B., McCracken, M.L., Marques, F.F.C., Borchers, D.L., Buckland, S.T., Ainley, D.G. (2003). "Validating the use of generalized additive models and at-sea surveys to estimate size and temporal trends of seabird populations". *Journal of Applied Ecology* 40: 278-292.
- Collie, J.S., Hall, S.J., Kaiser, M.J., Poiner, I.R. (2000). "A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos". *Journal of Animal Ecology* 69: 785-798
- Colloca, F., Cardinale, M., Belluscio, A., Ardizzone, G. (2003). "Pattern of distribution and diversity of demersal assemblages in the central Mediterranean sea". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56: 469-480.
- EnviEFH, Environmental Approach to Essential Fish Habitat Designation. Acesso em 2/12/07 (<http://arch.her.hcmr.gr/enviefh/index.html>).

- FERRIER, S., WATSON, G., PEARCE, J., DRIELSMA, M. (2002a). Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New SouthWales. I. Species-level modeling. *Biodiversity and Conservation* 11: 2275–2307
- FERRIER, S., DRIELSMA, M., MANION, G., WATSON, G. (2002b). Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New SouthWales. II. Community-level modeling. *Biodiversity and Conservation* 11: 2309–2338
- Ferrier, S. (2002). "Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here?". *Syst. Biol.* 51(2):331–363.
- Francis, P. Malcom, Mark A. Morrison, John Leathwick, Cameron Walsh, and Crispin Middleton. "Predictive models of small fish presence and abundance in northern New Zealand harbours." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64 (2005): 419-435.
- Freeman, S.M., Rogers, S.I. (2003). "A new analytical approach to the characterization of macro-epibenthic habitats: linking species to the environment". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56: 749–764
- Gonçalves, J.M.S.; Monteiro, P.; Coelho, R.; Afonso, C.; Ribeiro, J.; Almeida, C.; Veiga, P.; Machado, D.; Bercibar, E.; Oliveira, F. e Bentes, L. (2004). "Mapeamento de biocenoses marinhas da Reserva Ecológica Nacional Submarina entre Albufeira e Vale do Lobo". Relatório Final CCDR Algarve. Universidade do Algarve, CCMAR, Faro, 182 pp + Anexos.
- Gonçalves, J.M.S.; Monteiro, P.; Coelho, R.; Afonso, C.; Almeida, C.; Veiga, P.; Machado, M.; Machado, D.; Oliveira, F.; Ribeiro, J.; Abecasis, D.; Primo, L.; Tavares, D.; Fernández-Carvalho, J.; Abreu, S.; Fonseca, L.; Erzini, K. e Bentes, L. (2007). "Cartografia e caracterização das biocenoses marinhas da Reserva Ecológica Nacional Submarina entre a Galé e a barra nova do Ancão". Relatório Final CCDR Algarve. Universidade do Algarve, CCMAR, Faro, 242 pp + Anexos.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E. (2000). "Predictive habitat distribution models in ecology". *Ecological Modelling* 135: 147–186.

- Hastie, T., Tibshirani, R. (1990). *Generalized additive models*. London, Chapman and Hall. 335p.
- Insightful Corporation (2002). S-Plus 6.1.
- Instituto de Meteorologia (2004). Caracterização Climática da Costa. Acesso internet (1/12/07) [http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/mari\\_rc\\_00\\_00\\_11.pdf](http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/mari_rc_00_00_11.pdf). 29p.
- Kaiser, M.J., Collie, J.S., Hall, S.J., Jennings, S., Poiner, I.R. (2001). *Impacts of fishing gear on marine benthic habitats*. Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, Reykjavik, Iceland.
- Katsanevakis, S. (2007). "Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: the *Pinna nobilis* example in a marine lake." *Marine Biology*, 152:77–85.
- Koubbi, P., Loots, C., Cotonnec, G., Harlay, X., Grioche, A., Vaz, S., Martin, C., Walkey, M., Carpentier, A. (2006). "Spatial patterns and GIS habitat modeling of *Solea solea*, *Pleuronectes flesus* and *Limanda limanda* fish larvae in the eastern English Channel during the spring". *Scientia Marine*, 70S2: 147-157.
- Leathwick, J.R., Elith, J., Francis, M.P., Hastie, T., Taylor, P. (2006). "Variation in demersal fish species richness in the oceans surrounding New Zealand: an analysis using boosted regression trees". *Marine Ecology Progress Series*, 321: 267-281.
- Lehmann, A. (1998). "GIS modeling of submerged macrophyte distribution using Generalized Additive Models". *Plants Ecology* 139: 113-124.
- Lehmann, A., Overton, J. McC., Leathwick, J.R. (2002a). "GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction". *Ecological Modelling* 157: 189/207.
- Lehmann, A., Overton, J. McC., Leathwick, J.R. (2002b). "Assessing New Zealand fern diversity from spatial predictions of species assemblages". *Biodiversity and Conservation* 11: 2217–2238.

- Le Pape, O., Chauvet, F., Mahévas, S., Lazure, P., Guérault, D., Désaunay, Y. (2003). "Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population." *Journal of Sea Research* 50: 139-149.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities". *Nature*, 403: 853-858.
- Petitgas, P. (2001). "Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications." *Fish and Fisheries* 2: 231-249.
- Pittman, S.J., Christensen, J.D., Caldow, C., Menza, C., Monaco, M.E. (2007). "Predictive mapping of fish species richness across shallow-water seascapes in the Caribbean". *Ecological Modelling* 204: 9-21.
- Raventos, N. e Macpherson, E. (2005). "Environmental influences on temporal patterns of settlement in two littoral labrid fishes in the Mediterranean Sea". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63: 479–487.
- Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R. (editores)(2001). *Climate change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*. Lisboa, Gradiva. 454p.
- Sousa,P., Azevedo, M., Gomes, M.C. (2005). "Demersal assemblages off Portugal: Mapping, seasonal, and temporal patterns". *Fisheries Research* 75: 120–137.
- Sousa,P., Azevedo, M., Gomes, M.C. (2006). "Species-richness patterns in space, depth, and time (1989-1999) of the Portuguese fauna sampled by bottom trawl". *Aquatic Living Resources* 19, 93–103.
- Stoner, A.W., Manderson, J.P., Pessutti, J.P. (2001)."Spatially explicit analysis of estuarine habitat for juvenile winter flounder: combining generalized additive models and geographic information systems". *Marine Ecology Progress Series*, 213: 253-271.
- Swartzman, G., Huang, C., and Kaluzny, S. (1992). Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1366–1378.

UK Climate Impacts Programme. [www.ukcip.org.uk/](http://www.ukcip.org.uk/) (Acesso em 14 Dezembro 2007).

Tobler, W. (1970). "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region".  
Economic Geography, 46(2): 234-240

Valavanis, V.D., Georgakarakos, S., Kapantagakis, A., Palialexis, A., Katara, I. (2004). "A GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation".  
Ecological Modelling, 178: 417-427.

Venables, W.N., Ripley, B.D. (1999). *Modern applied Statistics with S-Plus*. Nova Iorque, Springer-Verlag.

Welsh, A.H., Cunningham, R.B., Donnelly, C.F., Lindenmayer, D.B. (1996). "Modelling the abundance of rare species: statistical models for counts with extra zeros". Ecological Modelling 88: 297-308.

Zheng, X., Pierce, G.J., Reid, D.G., Jolliffe, I.T. (2003). "Does the North Atlantic current affect spatial distribution of whiting? Testing environmental hypotheses using statistical and GIS techniques". ICES Journal of Marine Science, 59: 239-253.

Zuur, A.F., Ieno, E.N. e Smith, G.M. (2007). *Analysing Ecological Data*. New York, Springer, 672p.

# ANEXO

Tabela 1 – Valores das ANOVAS dos modelos de teste no processo iterativo de eliminação das variáveis.

Modelos	Resid. Df	Resid. Dev	Excluída	Df	Deviance	F Value	Pr(F)	Classificação Variável
Modelo total	60.02	5097.10						
Modelo total - O2	64.00	5263.61	s(O2, df = 4)	-3.98	-166.5	0.493	0.7402	Não significativa
Modelo total - Subst	62.92	5230.90	s(Subst, df = 3)	-2.90	-133.8	0.543	0.6488	Não significativa
Modelo total - Temp	64.03	5428.96	s(Temp, df = 4)	-4.01	-331.9	0.975	0.4281	Não significativa
Modelo total - X	63.96	5782.47	s(X, df = 4)	-3.94	-685.4	2.050	0.0997	Não significativa
Modelo total - Mes	64.01	5458.76	s(Mes, df = 4)	-3.99	-361.7	1.069	0.3798	Não significativa
Modelo total - Sal	64.01	5518.14	s(Sal, df = 4)	-3.99	-421.0	1.243	0.3023	Não significativa
Modelo total - Y	64.02	5598.76	s(Y, df = 4)	-4.00	-501.7	1.478	0.2201	Não significativa
Modelo total - Prof	64.05	6915.10	s(Prof, df = 4)	-4.03	-1818.0	5.317	0.0010	significativa
Modelo - O2	64.00	5259.21						
Modelo - O2-Temp	68.00	5645.81	s(Temp, df = 4)	-4.00	-386.6	1.163	0.3353	Não significativa
Modelo - O2-Subst	66.91	5405.50	s(Subst, df = 3)	-2.91	-146.3	0.605	0.6096	Não significativa
Modelo - O2-X	67.96	5952.65	s(X, df = 4)	-3.96	-693.4	2.110	0.0904	Não significativa
Modelo - O2-Mes	67.98	5875.98	s(Mes, df = 4)	-3.98	-616.8	1.866	0.1275	Não significativa
Modelo - O2-Sal	68.00	5716.30	s(Sal, df = 4)	-4.00	-457.1	1.377	0.2518	Não significativa
Modelo - O2-Y	68.00	5788.34	s(Y, df = 4)	-4.00	-529.1	1.592	0.1870	Não significativa
Modelo - O2-Prof	68.05	7134.18	s(Prof, df = 4)	-4.05	-1875.0	5.582	0.0006	significativa
Modelo - O2-Subst	66.91	5405.50						
Modelo - O2-Subst-Temp	70.92	5700.11	s(Temp, df = 4)	-4.00	-294.6	0.913	0.4618	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Sal	70.91	5922.03	s(Sal, df = 4)	-4.00	-516.5	1.602	0.1841	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Y	70.90	6112.00	s(Y, df = 4)	-3.98	-706.5	2.200	0.0786	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Mes	70.90	5973.03	s(Mes, df = 4)	-3.98	-567.5	1.766	0.1463	Não significativa
Modelo - O2-Subst-X	70.87	6080.31	s(X, df = 4)	-3.95	-674.8	2.115	0.0892	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Prof	70.92	7813.07	s(Prof, df = 4)	-4.01	-2407.6	7.451	0.0000	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp	70.92	5700.11						
Modelo - O2-Subst-Temp - Sal	74.89	6762.50	s(Sal, df = 4)	-3.97	-1062.4	3.323	0.0151	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Mes	74.96	6923.61	s(Mes, df = 4)	-4.04	-1223.5	3.764	0.0076	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X	74.91	6220.07	s(X, df = 4)	-3.99	-520.0	1.618	0.1793	Não significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Y	74.91	6518.25	s(Y, df = 4)	-4.00	-818.1	2.544	0.0470	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - Prof	74.93	8099.88	s(Prof, df = 4)	-4.01	-2399.8	7.438	0.0000	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X	74.91	6220.07						
Modelo - O2-Subst-Temp - X - Y	79.01	7071.15	s(Y, df = 4)	-4.10	-851.1	2.443	0.0525	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X - Sal	78.97	7351.54	s(Sal, df = 4)	-4.06	-1131.5	3.278	0.0152	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X - Mes	78.98	7855.47	s(Mes, df = 4)	-4.07	-1635.4	4.732	0.0018	significativa
Modelo - O2-Subst-Temp - X - Prof	79.10	11268.26	s(Prof, df = 4)	-4.19	-5048.2	14.188	0.0000	significativa

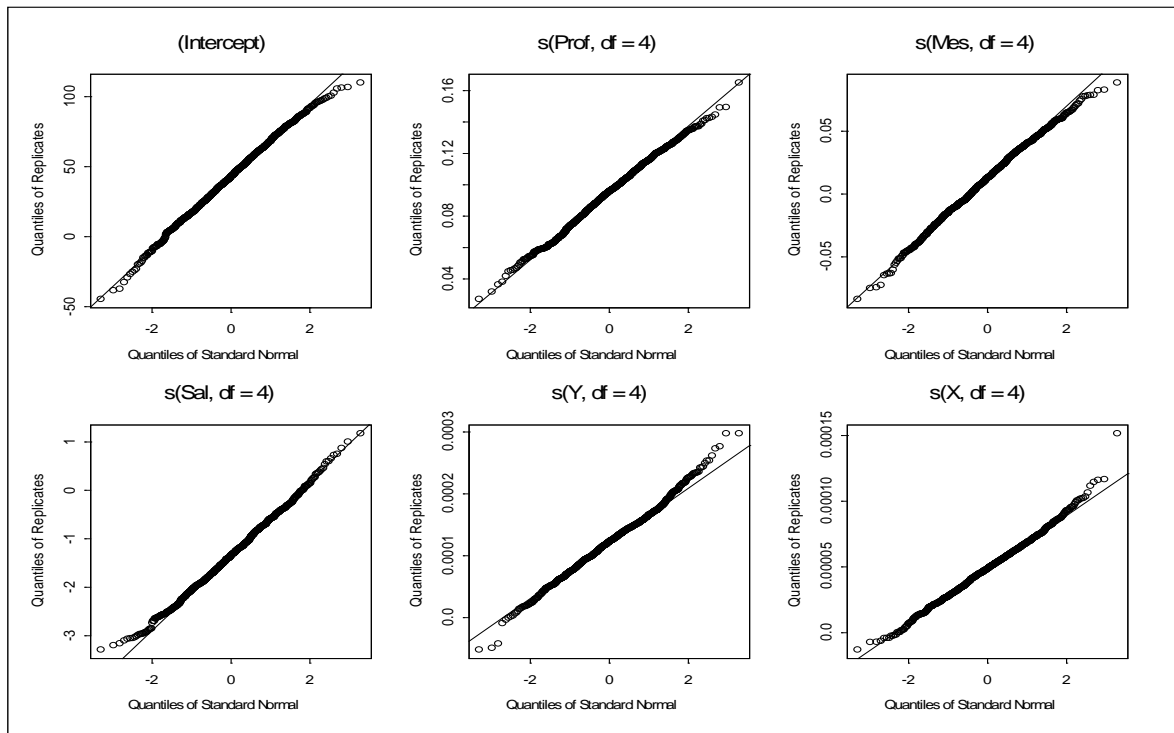


Figura 1 – Distribuição de quantis dos coeficientes das variáveis explicativas do modelo GAM após 1000 permutações de bootstrap.