

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente
Projeto em Engenharia da Energia e do Ambiente



Planeamento e Hierarquização do Uso de Espaço – Energia Eólica
***Offshore* e Ondas**

Contribuição para o Projeto FCT - Roadmap Energias Marinhas

Dário Aníbal Azevedo Gambão nº40739

Orientadora: Professora Ana Estanqueiro

Co-orientadora: Dra. Teresa Simões

Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Responsável pela Unidade Curricular: Professor João Serra

Novembro de 2013

Abstract

This work was developed under the project PTDC/SEN-ERS/105403/2008 "Roadmap-WW-Methodologies for Design, Monitoring Update of Development Strategies: Application to the Case of Marine Energy in Portugal", funded by the Foundation for Science and Technology.

The goal of this project is the optimization of a tool, developed in ArcMap 10.0, for planning and prioritization the use of space of the Portuguese coast towards a future development and implementation of offshore wind and waves systems. The tool was reprogrammed and an option was inserted that allows users to apply it on selected country area of study; then, the functionalities were divided in a sequence of options that made the tool more controllable. A more user friendly interface was created through the use of toolbars that grouping the different functionalities.

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto PTDC/SEN-ERS/105403/2008 “*Roadmap – WW-Metodologias para Conceção, Monotorização a Atualização de Estratégias de Desenvolvimento: Aplicação ao Caso das Energias Marinhas em Portugal*”, financiado pela fundação para a Ciência e Tecnologia.

O objetivo deste projeto consiste na otimização de uma ferramenta, desenvolvida em ArcMap 10.0, para planeamento e hierarquização do uso de espaço na costa portuguesa com vista ao futuro desenvolvimento e implementação de sistemas de energia eólica *offshore* e ondas. Para tal reprogramou-se a ferramenta, introduziu-se uma opção que permite aos utilizadores a sua aplicação apenas a uma área de estudo do país desejada, dividiram-se as funcionalidades numa sequência de opções que tornaram a ferramenta mais controlável, tendo-se criado ainda uma interface mais interativa, de fácil utilização e mais clara, através de *toolbars* que agrupam as várias funcionalidades.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à Professora Ana Estanqueiro por esta oportunidade de estágio para desenvolvimento deste projeto que me permitiu desenvolver competências tanto a nível profissional como a nível pessoal. Agradeço também à Dra. Teresa Simões pela disponibilidade e empenho no acompanhamento deste projeto. Igualmente ao Dr. Paulo Costa e ao LNEG, Laboratório Nacional de Energia, pela total disponibilidade.

Gostaria de agradecer ainda a todos os colegas estagiários que me acompanharam e ajudaram durante este período, tal como a todas as pessoas do LNEG que de uma forma ou de outra me auxiliaram.

Por fim, gostaria ainda de agradecer à Faculdade de Ciências e ao Coordenador da unidade curricular, Professor João Serra.

Índice

1. Introdução	4
2. Planeamento de Energias Renováveis	5
3. Enquadramento	6
4. Metodologia	7
4.1. Reestruturação Modelo	7
4.2. Introdução de Seleção de Área	8
4.3. Desdobramento Sequencial do Modelo	9
4.3.1. Cálculo de Zonas Ótimas	9
4.3.2. Seleção de Área	10
4.3.3. Seleção de Área com Informação de Portos, Docas e Estaleiros	11
4.3.4. Mapa de Resultados	12
4.3.5. Cálculo do Número de Sistemas a Implementar	13
4.4. Criação <i>Toolbar</i>	15
4.5. Caso da Energia das Ondas	15
5. Conclusões e Trabalho Futuro	19
6. Referências	20
7. Bibliografia	21
8. Anexos	22
8.1 Anexo 1 – Portos, Docas e Estaleiros	22

Índice de Figuras

Figura 1 – Modelo para planeamento e hierarquização do uso de espaço para a energia eólica <i>offshore</i> . (a) Modelo inicial. (b) Modelo reestruturado.	7
Figura 2 – Quadro de seleção de área de interesse.	8
Figura 4 - Mapa obtido de zonas ótimas para implementação de sistemas de eólica <i>offshore</i> tendo em conta o cálculo enunciadas no ponto 4.3.1. Condições desejadas utilizadas por defeito: NEPs> 3000 h/ano, velocidade> 7 m/s, batimetria [-200;-40] m.	10
Figura 5 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica. Por defeito retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$	11
Figura 6 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica com informação de portos, docas e estaleiros. Por defeito retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$ e condições desejadas: 80 km de distância máxima a estaleiros com área> 15120 m ² , docas com comprimento> 120 m, portos com calado> 10m.	12
Figura 7 - Mapa económico para uma turbina Vestas 164, aplicado às áreas ótimas de interesse definidas através do modelo 4.3.2.	13
Figura 8 - Número de sistemas possíveis de implementar, definidos por classes, em cada área ótima definida. Por defeito utilizou-se 164 m como dimensão de diâmetro, 5 e 8 diâmetros como medidas dos lados do retângulo que formam a área de ocupação da turbina.	14
Figura 9 - Fração da tabela de atributos da layer do número de sistemas a implementar com diversa informação de cada zona ótima. F_Area representa o área de cada zona ótima, dis_u e dis_lu os números de diâmetros que constituem os lados do retângulo da área de ocupação de cada turbina, d_units o diâmetro da turbina, p_kW a potência de cada turbina, n_u o número de sistemas possíveis de implementar, TotalP_MW o a potência nominal possível de instalar, AP_MWh a energia total possível de produzir e NEPS_hyear o NEPS de cada zona.	14
Figura 10 - <i>Toolbar</i> que reúne botões com todas as opções de cálculos sequenciais que a ferramenta oferece para energia eólica <i>offshore</i>	15
Figura 11 - Mapa de zonas ótimas com condições desejadas de batimetria por defeito [-100;-40] m.	16
Figura 12 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica: retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$	16
Figura 13 - Mapa económico para um sistema de ondas típico, aplicado às áreas ótimas de interesse.	17
Figura 14 - Número de conjuntos de sistemas possíveis de implementar, definidos por classes, em cada área ótima definida.	17
Figura 15 - <i>Toolbar</i> que reúne botões com todas as opções de cálculos sequenciais que a ferramenta oferece para energia das ondas.	18

Figura 16 - Interface da ferramenta onde todas as funcionalidades são apresentadas através de botões presentes em <i>toolbars</i>	18
Figura 17 - Fração da tabela de atributos do mapa de portos retirada do ArcGis.	23
Figura 18 – Fração da tabela de atributos do mapa de docas retirada do ArcGis.	23
Figura 19 - Fração da tabela de atributos do mapa de estaleiros retirada do ArcGis.	24

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros caracterizados referentes aos portos.	22
Tabela 2 – Parâmetros caracterizados referentes às docas.	23
Tabela 2 - Parâmetros caracterizados referentes aos estaleiros.	24

1. Introdução

As preocupações energéticas face à dependência de combustíveis fósseis e os seus efeitos nocivos para o ambiente são temas que, nos dias de hoje, geram grande apreensão e fizeram alterar em muito as estratégias do setor energético europeu. Como resultado dessa alteração os membros da União Europeia (UE) fixaram objetivos a atingir em 2020 neste setor onde se destacam, a redução de 20% no consumo de energia primária através da aposta na eficiência energética e da redução da emissão de gases poluentes, bem como uma forte aposta nas energias renováveis com o objetivo de que 20% da energia consumida na UE seja proveniente deste tipo de fontes. [1]

A nível nacional, e face às metas europeias anteriormente referidas, Portugal definiu metas ambiciosas para o ano 2020 tal como ficou definido na Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020). De acordo com esta estratégia, Portugal propõe-se a reduzir a dependência energética do país face ao exterior para 74%, onde pretende que 31% da energia final provenha de fontes renováveis, aliado a uma redução no consumo de energia final em 20% tal como proposto pela UE. Considerando esta estratégia, um dos grandes objetivos nacionais neste setor energético é o reforço significativo da contribuição das energias renováveis, principalmente na componente de energia elétrica onde faz parte da ENE 2020 a meta de uma produção de 60% com base em tecnologias desta natureza. [2]

Um dos recursos renováveis que tem maior potencial de aplicação em Portugal são as energias marinhas, onde se distinguem a energia das ondas e a energia eólica *offshore*. Neste momento a energia das ondas não representa ainda uma expressão significativa na produção energética nacional, no entanto apresenta um potencial elevado estando dependente dos avanços tecnológicos que se venham a verificar no futuro. A energia eólica *offshore*, apesar de apresentar custos de instalação e manutenção mais elevados comparativamente com o caso *onshore*, tem um potencial eólico superior, menor turbulência, disponibilidade de uma vasta área ainda por explorar e está sujeita a uma menor resistência por parte da população. A área dos sistemas de energia eólica *offshore* representa, dentro das energias renováveis, aquela que apresenta maior potencial de crescimento e o seu desenvolvimento é essencial para manter Portugal numa das posições de liderança do setor eólico. [3]

A elaboração de *Roadmaps* tecnológicos consiste numa técnica cada vez mais aplicada para a promoção de uma utilização eficiente dos recursos, fornecendo informações importantes de planeamento que permitem melhorar as decisões de investimentos.

Este trabalho tem como base um contributo para o trabalho desenvolvido no âmbito do projeto financiado pela fundação para a Ciência e Tecnologia, PTDC/SEN-ERS/105403/2008 “*Roadmap – WW-Metodologias para Conceção, Monitorização e Atualização de Estratégias de Desenvolvimento: Aplicação ao Caso das Energias Marinhas em Portugal*”.

Esse contributo passa pela otimização e criação de uma interface que permita a fácil utilização por parte dos potenciais utilizadores de uma ferramenta, desenvolvida no *software* ArcMap 10.0 (ArcGIS) para planeamento e hierarquização do uso de espaço na costa portuguesa para instalação de sistemas tanto de energia eólica *offshore* como de energia das ondas. Esta ferramenta foi apresentada publicamente em Abril de 2013, e muito embora tenha tido uma crítica muito positiva por parte do público, foram sugeridas ações de melhoramento da mesma.

2. Planeamento de Energias Renováveis

A motivação para a criação de uma ferramenta de planeamento e hierarquização do uso do espaço para as energias marinhas é resultado do forte e crescente interesse em estudar o potencial destas energias *offshore*, em especial a energia eólica *offshore*.

Esta ferramenta vem também no seguimento do Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo (POEM) e pretende ser uma ferramenta de apoio à caracterização e ordenamento do espaço marítimo, em particular para o sector energético [4].

O objetivo era a criação de uma plataforma de cálculo para caracterização de zonas marinhas tal como existe para o planeamento de outras tecnologias renováveis em regime *onshore*, como são o exemplo do PVGIS, Solterm, entres outras plataformas [5].

Dos exemplos mencionados anteriormente, o Solterm é uma plataforma desenvolvida pelo LNEG e consiste num programa de análise de sistemas solares que permite a simulação de desempenho na grande maioria das zonas do país. Tem um vasto conjunto de aplicações, como por exemplo o apoio no dimensionamento dos sistemas e estudos de viabilidade, sendo também a plataforma a ser legalmente utilizada no momento para a contabilização da contribuição de sistemas de energia solar para o balanço energético de edifícios [6].

Nesta área de planeamento de energias renováveis o LNEG desenvolve trabalhos desde algum tempo sendo que, no caso da energia eólica, as bases de dados EOLOS [7] foram o início dos trabalhos e, embora não sejam exatamente ferramentas, são bases de dados para planeamento de projetos na área, uma vez que fornecem vasta informação sobre a caracterização do vento existente em alguns locais [8].

Também com recurso a GIS – Sistemas de Informação Geográfica – têm sido realizados trabalhos para o desenvolvimento de uma metodologia de planeamento com vista a identificar os locais de maior interesse no que diz respeito ao recurso eólico [9]. No entanto, esses trabalhos desenvolvidos não contêm uma ferramenta interativa, a metodologia faz uso das ferramentas disponíveis no GIS mas aplicadas cada uma de forma independente e não automatizada como pretende ser esta ferramenta, agora em desenvolvimento para as energias marinhas.

3. Enquadramento

No início deste trabalho a ferramenta existente para o planeamento e hierarquização do uso de espaço na costa portuguesa para implementação de sistemas de energia eólica *offshore* e de energia das ondas, desenvolvida no *software* ArcMap 10.0 (ArcGIS) recorrendo à função *Model Builder*, era constituída por quatro modelos, dois deles para a energia eólica *offshore* e os restantes dois para a energia das ondas.

A diferença entre cada um dos modelos presidia, para além da forma de cálculo do número de sistemas a implementar por depender das características específicas de cada tipo de sistema, nas condições pretendidas para as áreas ótimas.

Com o intuito de selecionar as áreas desejadas foram identificadas restrições comuns a todos os modelos. Estas correspondiam a restrições locais como a existência de boias, cabos submarinos, condutas de abastecimento, corredores de navegação, fundeadouros, falhas ativas, rochas, zonas protegidas, zonas piloto e zonas ecológicas.

Para além das condições referidas, a cada par de modelos para um tipo de sistema aplicavam-se condições locais particularmente interessantes para o sistema em questão.

Para os dois modelos dirigidos aos sistemas de energia eólica *offshore* introduziam-se restrições como os valores de batimetria, número de horas equivalentes à potência nominal (NEPs) e a velocidade média do vento, enquanto para os dirigidos aos sistemas de energia das ondas somente os valores de batimetria eram considerados.

Entre os dois modelos, destinados ao mesmo tipo de sistema, a distinção consistia no facto de um apenas conter as condições de seleção base acima referidas e outro, para além das condições anteriores, conter também dados referentes à distância e características de portos, docas e estaleiros.

Todos os modelos solicitavam informações a introduzir pelos utilizadores, de acordo com os objetivos desejados, e tinham como output um mapa de resultados calculado apenas para as áreas ótimas e uma camada (*layer*) com informação das diferentes zonas incluindo o número de sistemas possíveis de implementar.

Neste projeto foi possível tornar a ferramenta mais controlável e com maior rapidez de execução, melhorando também a interface entre a ferramenta e o utilizador.

4. Metodologia

Com vista a otimizar a ferramenta, tal como era objetivo do projeto, inicialmente selecionou-se um modelo a otimizar. No caso, o modelo para a energia eólica *offshore* sem conter a informação sobre distância e características de portos, docas e estaleiros como restrição.

O trabalho de otimização foi dividido em quatro fases desde a reestruturação do modelo, introdução de uma instrução de seleção de área (não existente na ferramenta anterior e sugestão apresentada pelo público durante a sessão de apresentação), desdobramento sequencial e finalmente um melhoramento de interface através da criação de uma *toolbar*.

4.1. Reestruturação Modelo

A primeira fase do trabalho consistiu em reorganizar o modelo existente na função *Model Builder* pois este, apesar de apresentar como resultado um mapa de resultados aplicado somente às áreas ótimas e criar uma *layer* com informação sobre essas áreas incluindo o número de sistemas possíveis de implementar em cada uma, continha diversas ramificações secundárias desnecessárias que faziam aumentar o tempo de execução da ferramenta.

Visto o tempo de execução ser um dos aspetos a melhorar, o mapa de áreas ótimas, que anteriormente era calculado recorrendo a uma extensa sequência de cálculos, passou a ser calculado numa única operação de cálculo condensada que evitou o desenvolvimento de mapas intermédios diminuindo portanto a complexidade da ferramenta e por conseguinte o tempo de execução.

O segundo aspeto a melhorar nesta reestruturação prendeu-se com a organização para uma fácil compreensão do modelo tornando-o mais organizado e sucinto.

Esta fase do trabalho levou portanto à programação de um novo modelo que permitiu obter os mesmos resultados desejados de uma forma mais objetiva figura 1.

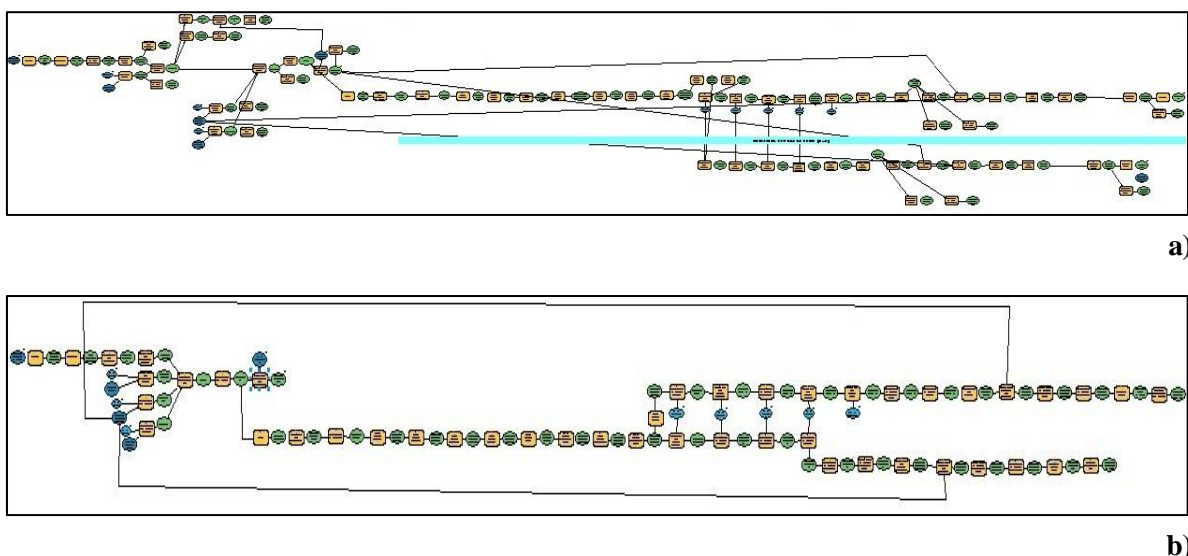


Figura 1 – Modelo para planeamento e hierarquização do uso de espaço para a energia eólica *offshore*. (a) Modelo inicial. (b) Modelo reestruturado.

4.2. Introdução de Seleção de Área

Nesta fase introduziu-se no modelo uma seleção de área, seleção esta que concede aos utilizadores a possibilidade de escolher qual a área de Portugal a estudar e portanto para a qual obter os resultados.

Para criação desta opção programou-se uma extração que permitiu extrair valores de um mapa de dados *raster* com base num retângulo desenhado através de coordenadas que o definem. Os valores das células não abrangidas por este retângulo são eliminados permitindo recortar o mapa.

Introduziu-se esta possibilidade numa fase inicial do modelo, aplicada ao mapa tipo *raster* dos locais avaliados como sendo ótimos, permitindo que o cálculo de qualquer mapa de resultados, do número de sistemas possíveis de implementar em cada área e qualquer outro cálculo intermédio efetuado a partir dessa etapa do modelo fosse aplicado a uma extensão menor de dados, somente os da área selecionada. Eliminaram-se assim cálculos desnecessários que poderiam ser efetuados anteriormente pelo facto de a ferramenta estar programada para apresentar sempre os resultados para todo o território nacional.

As dimensões do retângulo são solicitadas ao utilizador para que possa escolher qual a zona de interesse a selecionar, figura 2. Como por norma pretende-se estudar uma zona específica do país, esta modificação torna-se bastante útil contribuindo para uma otimização da execução e dos resultados obtidos como se pode verificar pela figura 3.

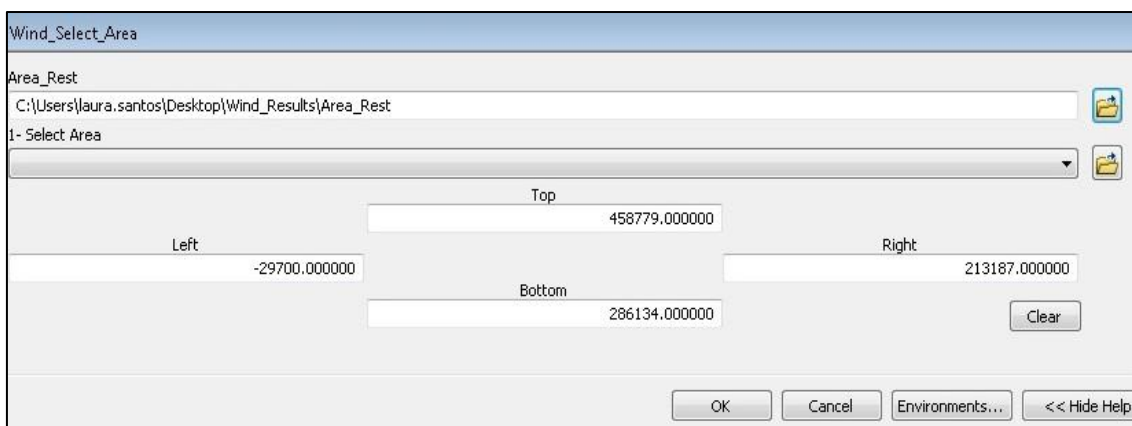


Figura 2 – Quadro de seleção de área de interesse.

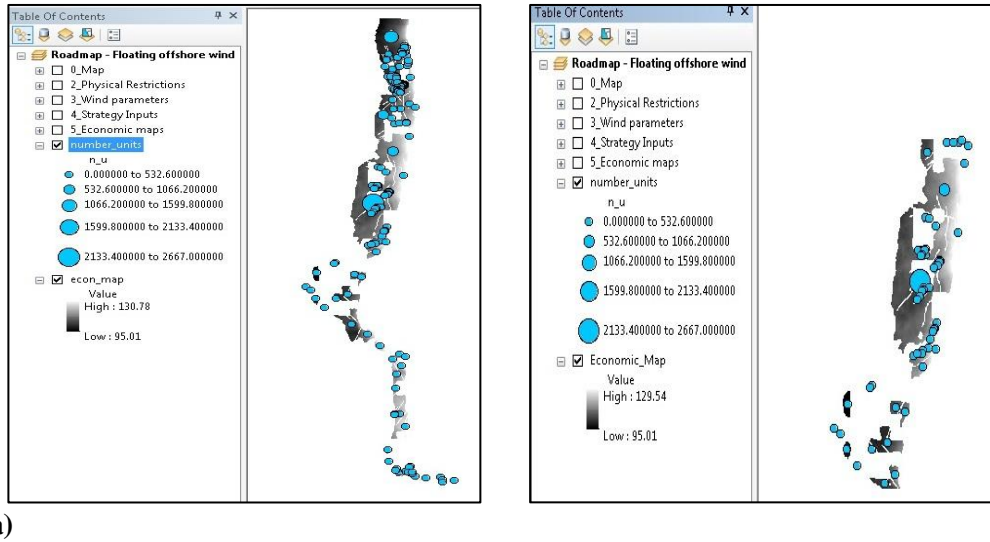


Figura 3 - Mapa económico e número de sistemas a implementar por zona ótima. (a) Aplicado o todo o país. (b) Aplicado somente a uma zona específica de interesse para estudo.

4.3. Desdobramento Sequencial do Modelo

Com o intuito de melhorar o controlo do utilizador face à ferramenta e apresentar um maior número de resultados pertinentes dividiu-se o modelo numa sequência lógica de modelos, mais reduzidos, que permitem ao utilizador poder controlar que resultados pretende, não tendo obrigatoriamente que executar todas as opções que a ferramenta oferece.

Este passo tornou a ferramenta mais controlável e dissociou o conjunto de dados a introduzir pelo utilizador pelas diferentes fases. Neste desdobramento dividiu-se a ferramenta global numa sequência de cinco opções. Cada uma delas para, respetivamente, calcular as zonas ótimas, seleccionar a área de interesse, seleccionar a área de interesse tendo em conta informação sobre portos, docas e estaleiros, calcular um mapa de resultados e calcular o número de sistemas possíveis de implementar por área.

4.3.1. Cálculo de Zonas Ótimas

Esta opção corresponde à parte inicial do modelo base. Calcula as zonas ótimas, neste caso para implementação de sistemas de eólica *offshore* em Portugal, através do produto de todos os mapas *raster* das restrições.

Este cálculo é possível desde que as células dos mapas tenham todas as mesmas dimensões e se tenha reclassificado, todos os mapas de restrições com os valores de 0 e 1 segundo a expressão (1):

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (v_{\text{celula}} > \min_{\text{desejado}} \text{ and } v_{\text{celula}} < \max_{\text{desejado}}) : \\
 & \quad v_{\text{celula}} = 1 \\
 & \text{else:} \\
 & \quad v_{\text{celula}} = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

onde, v_{celula} representa o valor da célula do mapa *raster* das restrições e \min_{desejado} e \max_{desejado} os valores dos limites do intervalo de condições desejadas indicadas pelo utilizador. As células com valor 1 no mapa resultante da reclassificação correspondem a zonas

que cumprem as condições desejadas ou seja, no mapa das restrições físicas, a zonas onde estas não existem e, nos restantes mapas, zonas que apresentam valores ótimos para os parâmetros considerados, neste caso de batimetria, NEPs e velocidade média do vento.

Como resultado deste produto obteve-se um novo mapa com valores de 0 e 1:

$$M_R = R * B * N * V \quad (2)$$

onde, M_R corresponde ao mapa *raster* das restrições resultante para a energia eólica *offshore*, R ao mapa *raster* reclassificado das restrições físicas, B ao mapa *raster* reclassificado da batimetria, N ao mapa *raster* reclassificado do NEPs e V ao mapa *raster* reclassificado da velocidade média do vento.

No mapa resultante, M_R , as zonas com valor 1 são as zonas ótimas, ou seja, aquelas que cumprem todas as condições necessárias, valor 1 em todos os mapas envolvidos no produto. O resultado visível do modelo corresponde ao mapa das zonas de valores 1, figura 4.

Os valores dos intervalos desejados para os parâmetros a considerar na implementação dos sistemas, aos quais é atribuído o valor 1, são solicitados, durante a execução do modelo, ao utilizador.

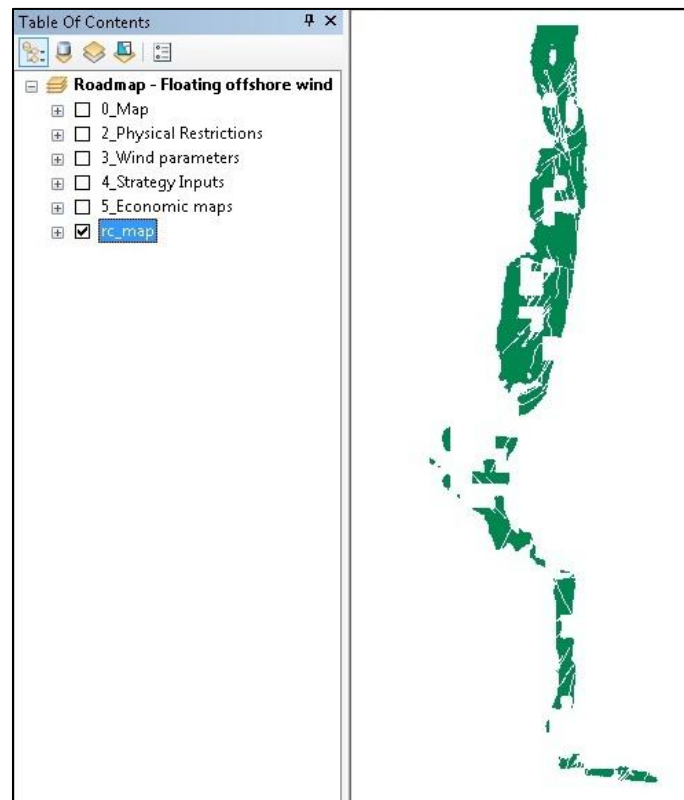


Figura 4 - Mapa obtido de zonas ótimas para implementação de sistemas de eólica *offshore* tendo em conta o cálculo enunciadas no ponto 4.3.1. Condições desejadas utilizadas por defeito: NEPs > 3000 h/ano, velocidade > 7 m/s, batimetria [-200;-40] m.

4.3.2. Seleção de Área

Partindo do resultado gerado no modelo anterior, apresentado em 4.3.1, recortou-se esse mapa por um retângulo cujas dimensões são introduzidas pelo utilizador através de coordenadas que definem os valores dos lados do retângulo. Como resultado deste modelo obteve-se um novo mapa de restrições mas apenas aplicado à área de estudo necessária indicada pelo utilizador,

como se pode ver na figura 5. Esta opção representa, do modelo base, a fase introduzida no ponto 4.2.

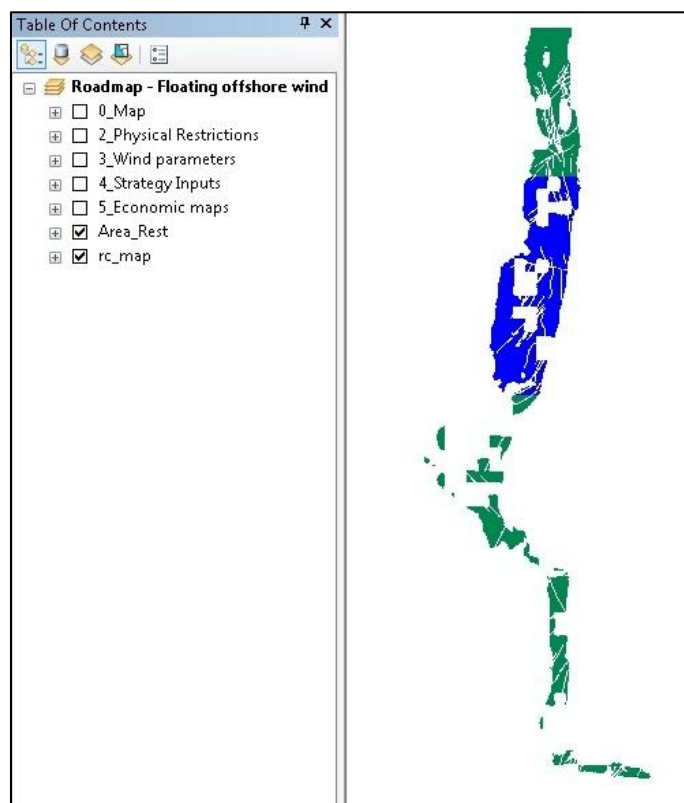


Figura 5 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica. Por defeito retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$.

4.3.3. Seleção de Área com Informação de Portos, Docas e Estaleiros

Este modelo representa, na sequência acima descrita, uma alternativa à opção representada em 4.3.2. Neste caso, partindo do resultado obtido no modelo apresentado em 4.3.1, gera-se também como resultado um novo mapa de restrições somente restringido à área de estudo necessária indicada pelo utilizador, mas tendo em conta que apenas são selecionadas áreas que também estejam a uma determinada distância máxima de portos, docas e estaleiros com condições dadas ótimas, que permitam todo o processo de instalação, operação e manutenção dos sistemas.

A introdução deste modelo na sequência como alternativa à opção 4.3.2 permitiu substituir a necessidade de existirem dois modelos compactos distintos para a energia eólica *offshore*, como acontecia inicialmente quando se iniciou este trabalho, pois estas duas opções (4.3.2 e 4.3.3) contemplam as variações que existiam entre esses dois modelos.

Efetuuou-se a reclassificação do mapa *raster* dos portos, selecionou-se a característica dos portos a ser analisada e quais os valores necessários desse parâmetro (e.g. calado, profundidade, entre outras. Ver anexo 1), atribuindo-se o valor 1 a esse intervalo e 0 ao intervalo dos valores que não abrangem as condições necessárias. Posteriormente aplicou-se um *Buffer* e obteve-se as áreas que estão a uma determinada distância máxima desses portos. Classificou-se novamente as áreas que estavam dentro dessa distância com o valor 1 como sendo áreas que têm as condições exigidas de proximidade e com o valor 0 as áreas que pelo contrário não apresentavam essas condições.

Aplicou-se o mesmo procedimento aos estaleiros e docas. Por fim calculou-se o produto desses três mapas com o mapa resultado obtido no modelo apresentado em 4.3.1 e obteve-se um novo resultado, um mapa *raster*, onde os valores 1 para além de estarem dentro da área de interesse têm todas as condições necessárias de proximidade a docas, estaleiros e portos com características selecionadas, figura 6.

As condições de entrada a aplicar, tal como todos os valores ótimos de reclassificação e o valor da distância máxima permitida, são introduzidas pelo utilizador ao selecionar esta opção. O novo mapa é então o mapa final de áreas ótimas, aquelas que apresentam todas as condições exigidas.

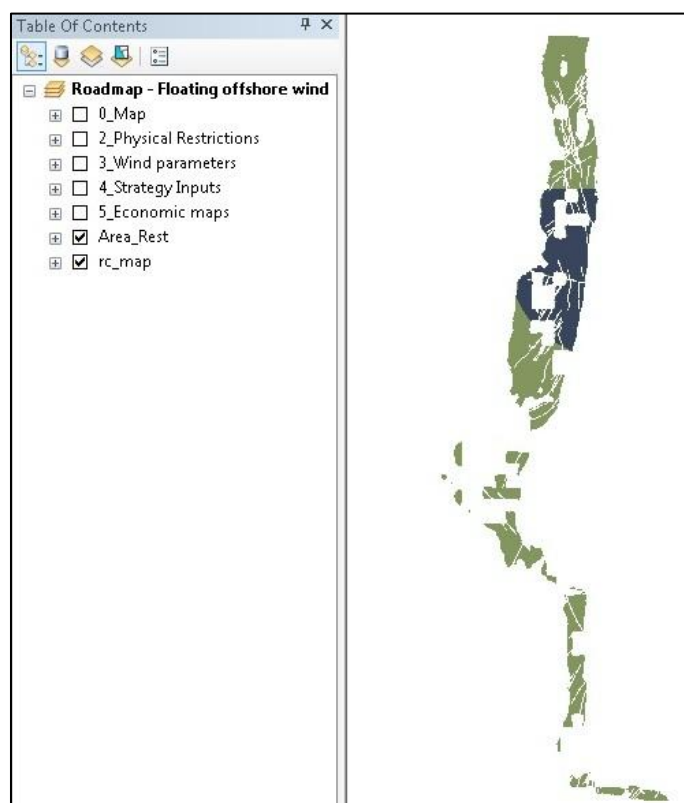


Figura 6 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica com informação de portos, docas e estaleiros. Por defeito retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$ e condições desejadas: 80 km de distância máxima a estaleiros com área > 15120 m², docas com comprimento > 120 m, portos com calado > 10m.

4.3.4. Mapa de Resultados

Esta opção pretende gerar um mapa de resultados aplicado às áreas ótimas existentes dentro da área de interesse selecionada. Efetuou-se o produto do mapa gerado anteriormente no ponto 4.3.2 ou 4.3.3 dependendo de qual das opções escolhidas para selecionar a área de interesse que é um mapa apenas com valor 1 nas áreas ótimas, por um mapa *raster* de resultados existente para Portugal.

O mapa de resultados a multiplicar é disponibilizado ao utilizador. O resultado final e visível mantém os valores do mapa somente para as zonas ótimas, figura 7.

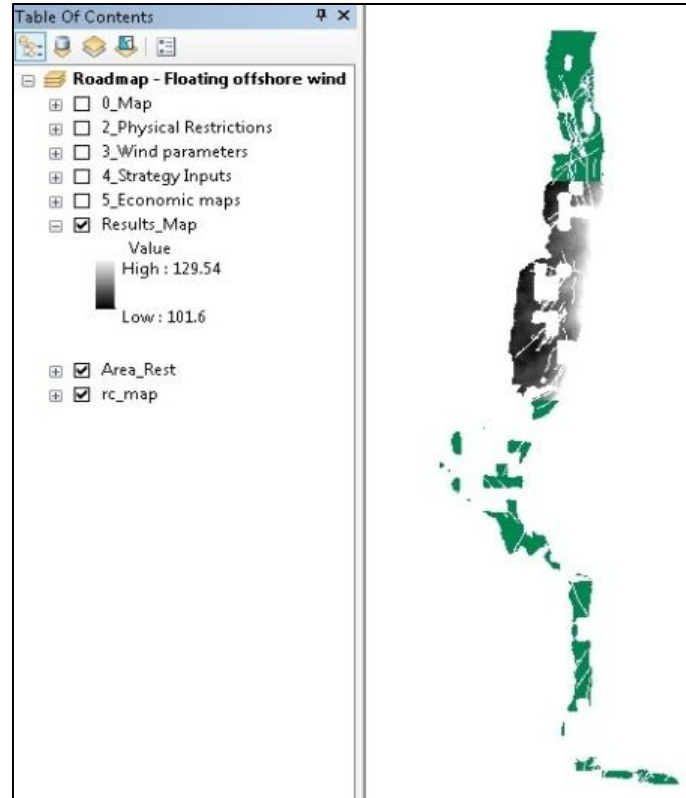


Figura 7 - Mapa económico para uma turbina Vestas 164, aplicado às áreas ótimas de interesse definidas através do modelo 4.3.2.

4.3.5. Cálculo do Número de Sistemas a Implementar

Neste último comando da sequência existe a possibilidade de criar como resultado duas *layers*, uma que indica o número de sistemas possíveis de implementar em cada zona ótima e outra o número de parques constituídos por um número definido de sistemas.

Esta opção contempla a última fração do modelo base. Inicialmente transformou-se as zonas em polígonos e calculou-se o valor das áreas de cada uma das zonas ótimas. Seguidamente, programou-se a introdução de várias informações úteis à tabela de atributos das *layers* sobre cada zona, como por exemplo o valor total da potência possível de implementar e o valor NEPs.

Na *layer* com informação sobre o número de sistemas a implementar por zona ótima, calculou-se esse número, segundo a equação (3), dividindo a área total da zona ($\text{Área}_{\text{zona}}$) pelo valor da área ocupada por cada turbina (yzD^2). Esse último valor de ocupação foi calculado como um retângulo cujos lados têm um número de vezes, y e z , o diâmetro da turbina.

$$N_{\text{turbinas}} = \frac{\text{Área}_{\text{zona}}}{yzD^2} \quad (3)$$

No cálculo do número de parques, constituídos por um número definido de sistemas, possíveis de implementar para cada zona ótima, dividiu-se a área total de cada zona pelo produto entre o número de sistemas energéticos pretendido por parque e a área ocupada por cada sistema (yzD^2).

Tal como se pode verificar pelas figuras 8 e 9, as *layers* resultantes são geradas no mapa de zonas ótimas e têm uma tabela de atributos que contém diversa informação que caracteriza cada zona ótima.

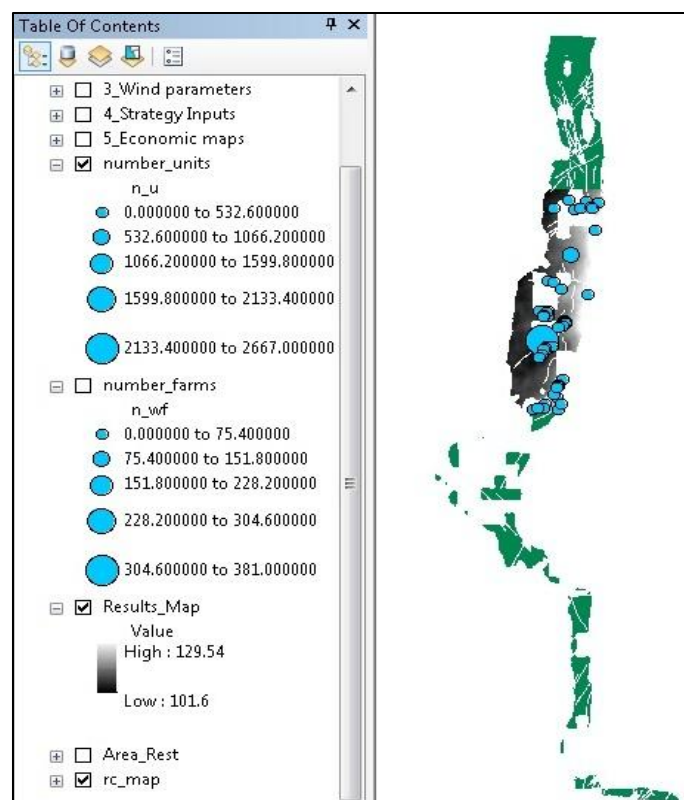


Figura 8 - Número de sistemas possíveis de implementar, definidos por classes, em cada área ótima definida. Por defeito utilizou-se 164 m como dimensão de diâmetro, 5 e 8 diâmetros como medidas dos lados do retângulo que formam a área de ocupação da turbina.

	FID	Shape	ID	GRIDCODE	F_AREA	dis_u	dis_lu	d_unit	p_kW	n_u	TotalP_MW	AP_MWh	NEPS_hyear
▶	0	Point	1	1	250000	5	8	164	7000	0	0	0	3623.73
	1	Point	2	1	500000	5	8	164	7000	0	0	0	3392.24
	2	Point	3	1	500000	5	8	164	7000	0	0	0	3370.66
	3	Point	4	1	72750000	5	8	164	7000	67	469	1628710	3472.73
	4	Point	5	1	27250000	5	8	164	7000	25	175	605103	3457.73
	5	Point	6	1	36250000	5	8	164	7000	33	231	813492	3521.61
	6	Point	7	1	198000000	5	8	164	7000	184	1288	4247450	3297.71
	7	Point	8	1	393000000	5	8	164	7000	365	2555	9453650	3700.06
	8	Point	9	1	32750000	5	8	164	7000	30	210	635775	3027.5
	9	Point	10	1	1132500000	5	8	164	7000	1052	7364	2535870	3443.61
	10	Point	11	1	18500000	5	8	164	7000	17	119	432312	3632.87
	11	Point	12	1	18500000	5	8	164	7000	17	119	425045	3571.81
	12	Point	13	1	8250000	5	8	164	7000	7	49	167622	3420.85
	13	Point	14	1	250000	5	8	164	7000	0	0	0	3557.16
	14	Point	15	1	750000	5	8	164	7000	0	0	0	3634.75

Figura 9 - Fração da tabela de atributos da layer do número de sistemas a implementar com diversa informação de cada zona ótima. F_Area representa o área de cada zona ótima, dis_u e dis_lu os números de diâmetros que constituem os lados do retângulo da área de ocupação de cada turbina, d_units o diâmetro da turbina, p_kW a potência de cada turbina, n_u o número de sistemas possíveis de implementar, TotalP_MW o a potência nominal possível de instalar, AP_MWh a energia total possível de produzir e NEPS_hyear o NEPS de cada zona.

Todas as variáveis em questão, como o valor multiplicador de diâmetro a admitir para cada lado do retângulo ocupado por cada sistema, o número de sistemas definido que constituem os parques, o diâmetro do rotor e a potência por unidade, são dados solicitados ao utilizador

quando executa esta opção, o que permite uma adaptação da ferramenta à realidade e aos objetivos pretendidos.

4.4. Criação *Toolbar*

Após aplicada a otimização anteriormente descrita, e devido à necessidade de melhorar a interface da ferramenta, desenvolveu-se uma *toolbar* que permitiu agrupar toda a sequência de opções anteriormente descrita para execução da ferramenta.

Recorrendo à opção *Customize Mode* do ArcMap criou-se uma nova *toolbar* à qual se adicionaram os comandos pretendidos, neste caso cinco botões com a formatação desejada e em que cada um deles está programado para, ao clicar, acionar um dos modelos da sequência construída no ponto 4.3.

Esta *toolbar*, figura 10, transmitiu à ferramenta uma maior facilidade de manuseamento e um aspeto mais agradável ao utilizador.



Figura 10 - *Toolbar* que reúne botões com todas as opções de cálculos sequenciais que a ferramenta oferece para energia eólica *offshore*.

Após otimizar a fração da ferramenta global dedicada à energia eólica *offshore* como descrito anteriormente, aplicou-se o mesmo procedimento à restante fração, aplicada à energia das ondas. Transformou-se igualmente os dois modelos compactos existentes em cinco opções sequenciais e agrupados também eles numa *toolbar*.

4.5. Caso da Energia das Ondas

As cinco opções construídas na ferramenta no que diz respeito à energia das ondas geram resultados distintos comparativamente com a da eólica *offshore*, figura 11 a 14, em consequência das particularidades dos sistemas em questão. Essas maiores diferenças são referentes às opções do cálculo das zonas ótimas e ao cálculo do número de sistemas a implementar.

Apesar das duas opções para a seleção de área de interesse e a do cálculo de um mapa de resultados serem semelhantes à energia eólica *offshore*, as zonas ótimas às quais se aplicam essas opções são bastante distintas nos dois sistemas de energia pois o cálculo das áreas ótimas difere.

Para a energia das ondas não se tem em conta, como parâmetro de restrição de áreas, valores referentes ao NEPs e à velocidade média do vento, apenas restrições físicas e intervalo de valores de batimetria. Também o número de unidades a implementar e todas as características

de cada zona ótima varia devido às características próprias do sistema que é obviamente diferente da energia eólica *offshore*.

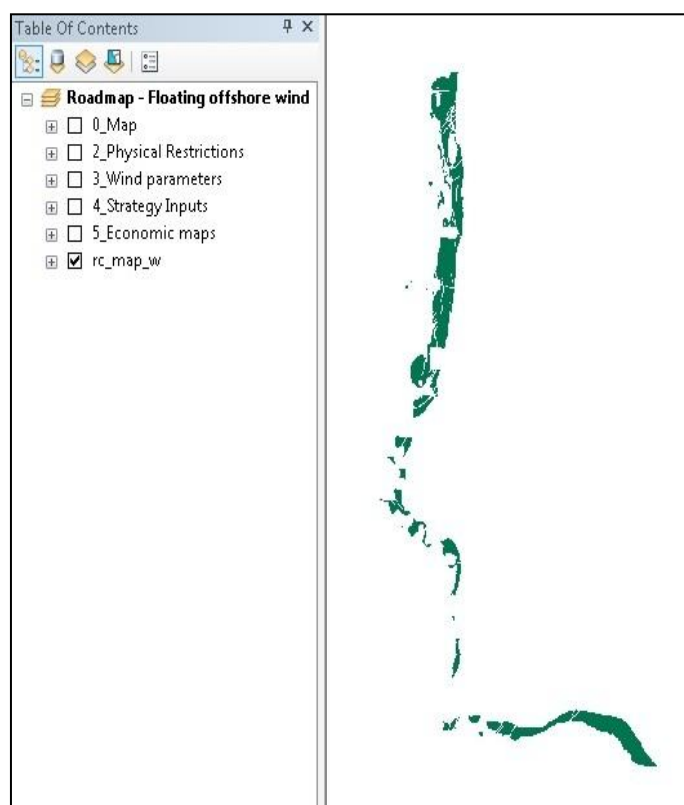


Figura 11 - Mapa de zonas ótimas com condições desejadas de batimetria por defeito [-100;-40] m.

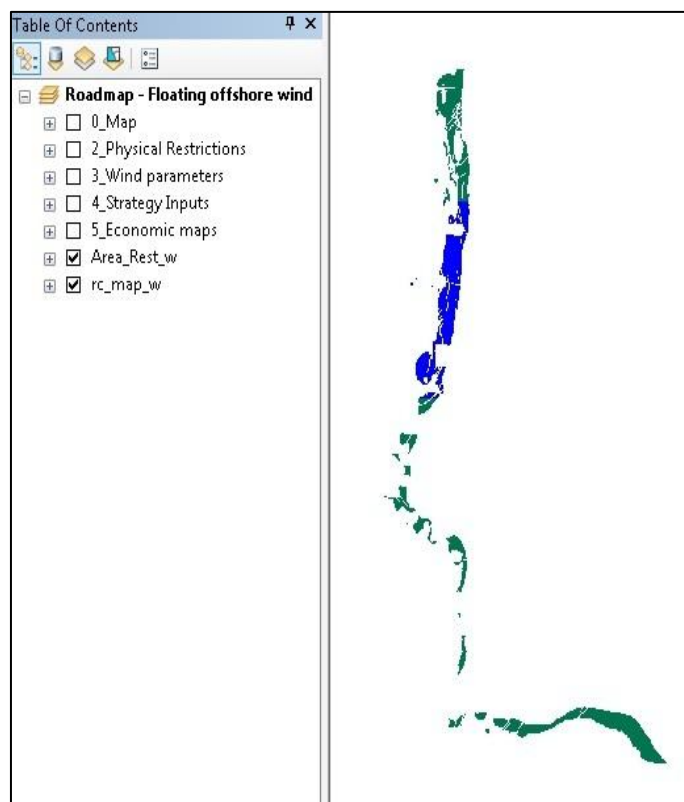


Figura 12 - Mapa de zonas ótimas aplicado à área de estudo específica: retângulo definido por $x_{left}=-29700$; $x_{right}=213187$; $y_{top}=458779$; $y_{bottom}=286134$.

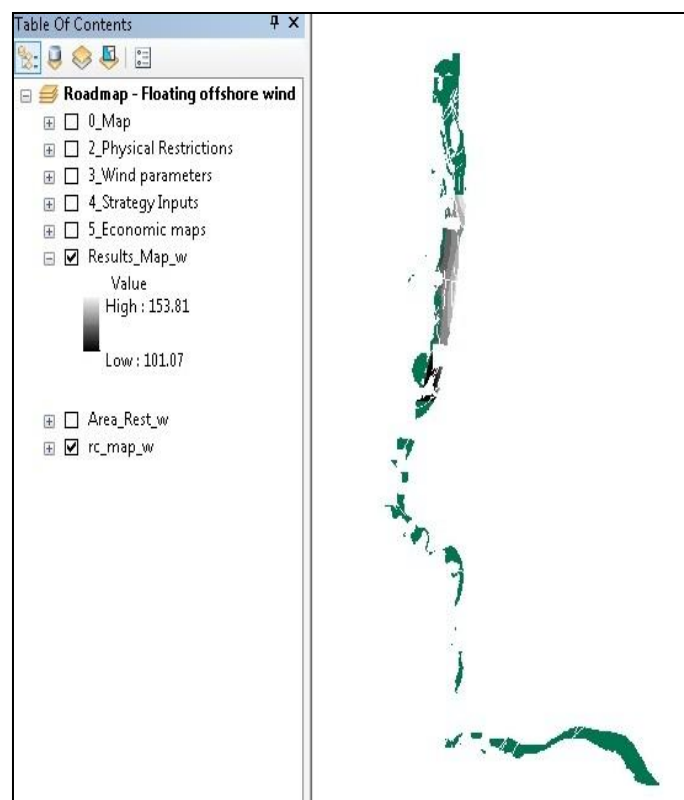


Figura 13 - Mapa económico para um sistema de ondas típico, aplicado às áreas ótimas de interesse.

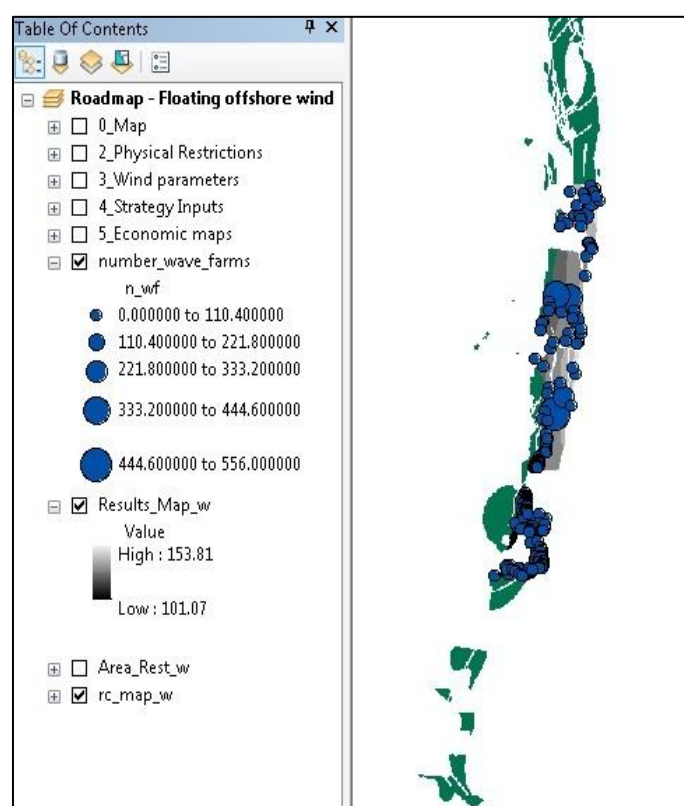


Figura 14 - Número de conjuntos de sistemas possíveis de implementar, definidos por classes, em cada área ótima definida.

A criação de uma *toolbar* também para a energia das ondas, como se pode ver pela figura 15, permitiu que todas as funcionalidades da ferramenta global fossem sintetizadas através de duas sucessões de botões de fácil manipulação por parte do utilizador, figura 16.



Figura 15 - *Toolbar* que reúne botões com todas as opções de cálculos sequenciais que a ferramenta oferece para energia das ondas.

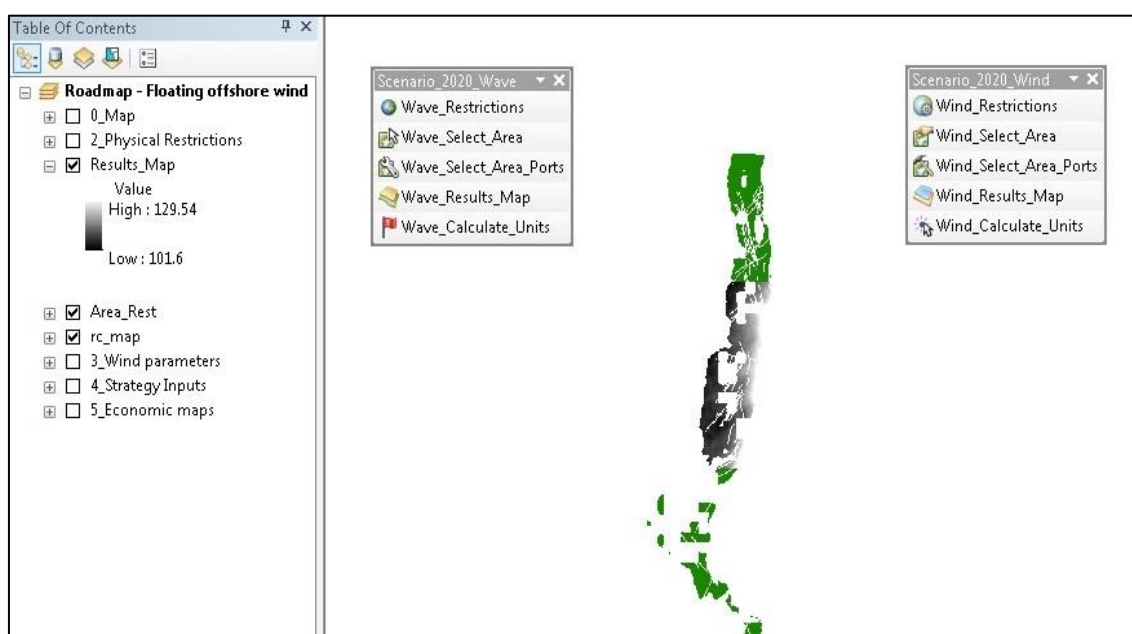


Figura 16 - Interface da ferramenta onde todas as funcionalidades são apresentadas através de botões presentes em *toolbars*.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

Com este projeto foi possível otimizar consideravelmente a ferramenta de planeamento e hierarquização do uso de espaço para o estudo das energias marinhas. No início do trabalho esta estava demasiado lenta e gerava resultados intermédios excessivos não visíveis pelo utilizador. Atualmente, a ferramenta está dividida sequencialmente em diversas opções para melhor compreensão e controlo, apresentando resultados faseados, que permitem uma melhor análise por parte dos utilizadores.

Essa divisão sequencial permitiu também, juntamente com a reprogramação que facilitou a sua compreensão ficando mais sucinta e objetiva, diminuir o tempo de execução da ferramenta.

A criação de *toolbars*, que reúnem vários botões programados com as diferentes opções que a ferramenta oferece, melhorou a interface da ferramenta facilitando a sua utilização.

No decorrer do projeto existiu a possibilidade de incorporar um código em linguagem *Visual Basic* aplicado ao ArcMap, mais propriamente às opções de seleção de área, de forma a tentar tornar essas opções ainda mais facilmente manuseáveis por parte dos utilizadores. Foi estudada essa opção, no entanto acabou por não ser seguida. O abandono desta ideia prendeu-se com o facto de esta linguagem de programação não permitir, na versão mais recente da plataforma ArcGis, a introdução de módulos e scripts desenvolvidos nesta base.

Neste momento a ferramenta contém um vasto número de funcionalidades e destaca-se a sua controlabilidade por parte do utilizador que, para além de decidir quais dessas funcionalidades utilizar, controla quais as condições para o estudo pretendido. Essas condições variam, desde a seleção das restrições a introduzir no cálculo de zonas ótimas, que podem ser selecionados de entre um vasto leque de opções pré-existentes, às características dos locais a estudar tais como a tipologia de sistemas a implementar.

Trabalho Futuro:

Este tipo de trabalho, devido à constante atualização da informação referente, quer ao potencial energético, quer às condições a aplicar, quer à evolução das tecnologias envolvidas, é passível de melhoramentos ao longo do tempo. Assim, como trabalhos futuros, podem sugerir-se os seguintes:

- Construção de uma *Add-in toolbar*. Esta ação permitirá partilhar as personalizações efetuadas no documento base ArcMap entre utilizadores. O agrupamento dessa personalização de interface e de toda a base de dados da ferramenta numa única pasta possível de partilhar e fácil de instalar numa morada pré-definida, que permita a sua execução, tornaria a ferramenta fácil de partilhar e utilizar por todos os utilizadores interessados.
- Manual de utilização da ferramenta desenvolvida. A elaboração e disponibilização de um manual de utilização facilitará a utilização da ferramenta desenvolvida a utilizadores inexperientes neste tipo de plataformas. O Manual encontra-se atualmente em desenvolvimento e contemplará exemplos de aplicação desta ferramenta.
- Continuação da otimização da interface. A interface é passível de ser melhorada para transmitir aos utilizadores uma maior facilidade de utilização.
- Atualização e adição de dados. Devido à constante atualização de informação, esta ação permite que a ferramenta se mantenha viável em qualquer altura de utilização.

6. Referências

- [1] “Comissão Europeia, Eurostat” [Online acedido em 10 de Outubro de 2013]: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/introduction>
- [2] Resolução do Conselho de Ministros n.º29/2010. Diário da República, 1.ª série – N.º73 – 15 Abril de 2010.
- [3] Estanqueiro, Ana “Energia Eólica Offshore – Levantamento do potencial do país, limitações e soluções tecnológicas”.
- [4] Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo – 1ª Fase Enquadramento, 7 Outubro de 2010 [Online acedido em 5 de Outubro de 2013]: <http://poem.inag.pt/>
- [5] [Online acedido em 5 de Outubro de 2013]: <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/>
- [6] [Online acedido em 20 de Outubro de 2013]: <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/paginas/31>
- [7] Simões, T., A. Estanqueiro, “Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal – EOLOS “, CD-ROM, INETI/DER, Agosto 2000.
- [8] Brandão, R., J. Rio, P. Costa, J. Teixeira, T. Simões, A. Estanqueiro, “Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal – EOLOS 2.0”, CD-ROM, INETI/DER, Março 2004. ISBN 972-676-195-6<tel:972-676-195-6>
- [9] Simões, T., Costa, P., A. Estanqueiro, “A Methodology for the Identification of the Sustainable Wind Potential. The Portuguese Case Study.”.

7. Bibliografia

Castro, Rui “Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica”, Lisboa: IST Press.

ESRI (2008), “Introduction to ArcGis Desktop for Mining Geocience”.

Python Programming Language – Official Website. [Online acedido entre Junho e Novembro de 2013]: <http://www.python.org/>.

ArcGis Resource Center - Using the ArcToolbox window. [Online acedido em Junho de 2013]: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help./index.html#/003q0000001m000000.htm>

ArcGis Help 10.1 - A quick tour of ModelBuilder. [Online acedido em Julho de 2013]: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/A_quick_tour_of_ModelBuilder/002w00000028000000/

ESRI Developer Network – Rectangle. [Online acedido em Julho de 2013]: http://edndoc.esri.com/arcojects/9.2/net/shared/geoprocessing/spatial_analyst_tools/rectangle.htm

ArcGis Desktop Help – Clip. [Online acedido em Julho de 2013]: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=clip%20\(data%20management\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=clip%20(data%20management))

ArcGis Resource Center - Reclassify (Spatial Analyst). [Online acedido em Julho de 2013]: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000sr000000.htm>

ArcGis Resource Center - An overview of the Extraction tools. [Online acedido em Julho de 2013]: <http://help.arcgis.com/en%20arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000028000000.htm>.

ArcGis Resource Center - Buffer (Analysis). [Online acedido em Julho e Setembro de 2013]: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help./index.html#/000800000019000000>

ArcGis Help 10.1 - Essential Python add-in concepts. [Online acedido em Setembro de 2013]: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/014p0000001p000000>

ArcGis Help 10.1 - What is a Python add-in? [Online acedido em Setembro de 2013]: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/014p00000025000000>

CEETA – ECO (2010), “Roadmapping Offshore Renewables in Portugal – Avaliação de Roadmaps Relevantes para Desenvolvimento de Energias Renováveis”. [Online acedido em 10 de Outubro de 2013]: http://offshoreroadmap.eu/Downloads/DeliverablesFinais/D1_RoadmapAssessmentReport.pdf

APREN – Associação de Energias Renováveis. [Online acedido em 7 de Novembro de 2013]: <http://www.apren.pt/>

8. Anexos

8.1 Anexo 1 – Portos, Docas e Estaleiros

- Portos

Tabela 1 - Parâmetros caracterizados referentes aos portos.

Portos - Parâmetros Caracterizados
Nome
Latitude
Longitude
Sub-Portos
Comprimento (m)
Largura (m)
Altura do Cais (m)
Rampa de Acesso ao Cais (m)
Calado Máximo (m)
Calado Máximo ao Cais (m)
Altura Máxima do Portico (m)
Desnível da Doca (m)
Porto Bruto (ton)
Deslocamento Máximo (ton)
Parque Fechado (m ²)
Parque Aberto (m ²)
Terraplenos (ha)
Área Molhada (ha)
Comprimento Máximo Navio (m)
Material Grua <20 (ton)
Material Grua > 50 (ton)
Material Guindaste <20 (ton)
Material Guindaste >50 (ton)
Material Semi-Portico <20 (ton)
Material Semi-Portico 20/50 (ton)
Material Semi-Portico >50 (ton)
Material Empilhador <20 (ton)
Material Empilhador 20/50 (ton)
Material Empilhador >50 (ton)
Capacidade de Armazenagem Descoberta (m ²)
Capacidade de Armazenagem Coberta (m ²)
Acessibilidades



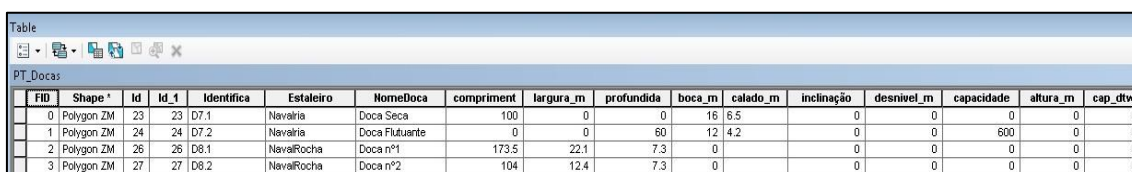
FID	Shape *	Id	Identifica	Ordem	Nome	Latitude	Longitude	SubPortos	Compriment	Largura_m	AltutadoCa	RampadeAce	CaladoMaxi
0	Polygon ZM	8	8	2	Porto de Leixões	4559152.5	525160.43	Multusos	310	0	10	26	
1	Polygon ZM	4	4	2	Porto de Leixões	4559152.5	525160.43	1 Sul	520	0	10	0	
2	Polygon ZM	3	3	2	Porto de Leixões	4559152.5	525160.43	1 Norte	455	0	10	0	
3	Polygon ZM	5	5	2	Porto de Leixões	4559152.5	525160.43	2 Norte	670	0	11	0	
4	Polygon ZM	6	6	2	Porto de Leixões	4559152.5	525160.43	2 Sul	690	0	11	0	

Figura 17 - Fração da tabela de atributos do mapa de portos retirada do ArcGis.

- Docas

Tabela 2 – Parâmetros caracterizados referentes às docas.

Docas - Parâmetros Caracterizados													
Estaleiro													
Nome													
Comprimento (m)													
Largura (m)													
Profundidade (m)													
Boca (m)													
Calado (m)													
Inclinação (m)													
Desnível (m)													
Capacidade (ton)													
Altura (m)													
Capacidade (dtw)													



FID	Shape *	Id	Id_1	Identifica	Estaleiro	NomeDoca	compriment	largura_m	profundida	boca_m	calado_m	inclinação	desnivel_m	capacidade	altura_m	cap_dtw
0	Polygon ZM	23	23	D7.1	Navalria	Doca Seca	100	0	0	16	6.5	0	0	0	0	0
1	Polygon ZM	24	24	D7.2	Navalria	Doca Flutuante	0	0	60	12	4.2	0	0	600	0	0
2	Polygon ZM	26	26	D8.1	NavalRocha	Doca nº1	173.5	22.1	7.3	0		0	0	0	0	0
3	Polygon ZM	27	27	D8.2	NavalRocha	Doca nº2	104	12.4	7.3	0		0	0	0	0	0

Figura 18 – Fração da tabela de atributos do mapa de docas retirada do ArcGis.

- Estaleiros**Tabela 2** - Parâmetros caracterizados referentes aos estaleiros.

Portos - Parâmetros Caracterizados	Portos - Parâmetros Caracterizados
Nome	Carreira de Construção – Largura (m)
UTM (WGS84) (Este [m_E])	Carreira de Reparação – Comprimento (m)
UTM (WGS84) (Norte [m_N])	Carreira de Reparação – Largura (m)
Área Descoberta (m ²)	Ponte Rolante – Altura (m)
Área Nave (m ²)	Ponte Rolante – Capacidade (ton)
Área A (m ²)	Pórtico – Altura (m)
Área A - Compósitos (m ²)	Pórtico – Capacidade (ton)
Área A - Recolha (m ²)	Travelift – Capacidade (ton)
Área A - Químicos (m ²)	Grua – Capacidade (ton)
Área Oficina (m ²)	Guindaste – Capacidade (ton)
Área Carpintaria (m ²)	Guindaste – Altura (m)
Área Serralharia (m ²)	Plano Inclinado – Capacidade (ton)
Doca Flutuante – Capacidade (ton)	Plano Inclinado – Comprimento (m)
Doca Flutuante – Comprimento (m)	Plano Inclinado – Largura (m)
Doca Flutuante – Boca (m)	Plano Inclinado – Inclinação (%)
Doca Flutuante – Largura (m)	Plano Inclinado – Boca (m)
Doca Flutuante – Calado (m)	Plano Inclinado – Calado (m)
Doca Flutuante – Altura (m)	Plano Inclinado – Profundidade (m)
Doca Seca - Comprimento (m)	Cais – Profundidade (m)
Doca Seca - Largura (m)	Cais – Comprimento (m)
Doca Seca - Profundidade (m)	Cais – Cota (m)
Doca Seca - Boca (m)	Atracação (ponte) – Comprimento (m)
Doca Seca - Calado (m)	Plataforma Elevatória – Capacidade (ton)
Doca Seca - Inclinação (m)	Plataforma Elevatória – Comprimento (m)
Doca Seca - Desnível (m)	Plataforma Elevatória – Boca (m)
Doca Seca - Capacidade (tdw)	Plataforma Elevatória – Calado (m)
Plataforma de Construção – Capacidade (ton)	Acessibilidades
Plataforma de Construção – Largura (m)	Pessoal - Quantidade
Plataforma de Construção – Comprimento (m)	Carreiras de Lançamento – Comprimento (m)
Carreira de Construção – Comprimento (m)	Carreiras de Lançamento – Largura (m)

FID	Shape*	Id	Id_1	Identifica	Nome	x_mE_UTMWG	y_mN_UTMWG	AreaDescob	AreaNave	Area_A1	area_A2	Area_Atint	Area_Areco	Area_Acomp	Area_Aquim	AreaOficin
0	Polygon ZM	1	1	E1	Nautiber	840946.35	4116466.2	7000	1000	560	100			0		0
1	Polygon ZM	5	5	E5	Lisnave	518453.27	4258540.61	1500000	0	0	0			0		0
2	Polygon ZM	2	2	E2	ArsenalAlfete	488900.39	4280031.99	280000	0	0	0			0		0
3	Polygon ZM	6	6	E6	ENVC	513245.76	4615277.93	220000	50000	0	0			0		0
4	Polygon ZM	3	3	E3	OCSantins	489238.43	4276676.43	120000	10000	300	0			1000		400

Figura 19 - Fração da tabela de atributos do mapa de estaleiros retirada do ArcGis.