



## MODELO DE PLANEAMENTO PORTUÁRIO E SIMULAÇÃO DINÂMICA PARA OFFSHORE WIND

Julia Kleiوسي; María Ferrer Mena; Marlene Dias  
Moffatt and Nichol

[jkleiوسي@moffattnichol.com](mailto:jkleiوسي@moffattnichol.com), [mferrermena@moffattnichol.com](mailto:mferrermena@moffattnichol.com), [mdias@moffattnichol.com](mailto:mdias@moffattnichol.com)

### Resumo

Os modelos de planeamento portuário e simulação dinâmica, dedicados a *Offshore Wind* (OSW), permitem a reprodução digital de um porto e, desta forma, a optimização das operações OSW.

A Moffatt & Nichol desenvolveu um modelo para o Porto de Esbjerg, na Dinamarca, dedicado a terminais de fabrico e montagem de OSW, com uma área total de 154 hectares. O modelo proporcionou um ambiente de baixo risco no estabelecimento de eficiências operacionais e espaciais que levaram ao aumento da capacidade do terminal em três vezes, num único período de instalação.

Foram identificados indicadores chave de desempenho, como taxas de transferência e de utilização dos cais, e possíveis problemas que poderiam conduzir a perdas de eficiência e de lucro.

No presente artigo apresenta-se o modelo de planeamento portuário e simulação dinâmica aplicado ao Porto de Esbjerg, desde a sua concepção à sua aplicação.

### Introdução

O crescimento contínuo em dimensão das turbinas eólicas *offshore*, acompanhado do aumento da procura deste tipo de energia, conduzem à necessidade crescente de infraestruturas portuárias. Durante a construção dos parques eólicos *offshore*, são necessários portos de *marshalling* para armazenamento e montagem dos componentes de geração das turbinas eólicas (*nacelles*, pás, secções parciais das torres), previamente ao carregamento dos navios de instalação ou das barcaças. A dimensão e o peso dos componentes encontram-se em rápido crescimento, acompanhando o aumento da capacidade nominal das turbinas, de 8MW para 15 MW e mais. Os componentes maiores conduzem a um aumento do nível de carga, dos requisitos geométricos e da disponibilidade de cais, em portos utilizados no apoio à construção de parques OSW.

A União Europeia e governos europeus estabeleceram objectivos ambiciosos para a construção de OSW nos médio e longo prazos. Para o cumprimento destes objectivos, é necessária a construção significativa de infraestruturas portuárias com capacidade adequada aos requisitos espaciais e de carga deste tipo de infraestrutura. Tal inclui a adaptação e reforço de terminais existentes ou a construção de terminais de raiz (*greenfield*). Os critérios para os portos OSW incluem, aproximadamente, 20 hectares de área em terrestre e cais com 500m de comprimento e 10 a 13m de profundidade. O nível de carga transmitido deve ser estabelecido em aproximadamente 15t/m<sup>2</sup> na área terrestre e 30t/m<sup>2</sup> no cais.

A Figura 1 apresenta o terminal em construção do porto eólico de Nova Jérсия, nos Estados Unidos da América. Trata-se de uma área *greenfield* convertida num terminal com 70 hectares, que irá acomodar operações de fabrico e de *marshalling*, em simultâneo.

Compreender os requisitos e a logística deste tipo de portos é fundamental para maximizar a produção de gigawatts (GW) e minimizar o custo de construção. A Moffatt & Nichol desenvolveu um programa de simulação dinâmica (*digital twin*), FlexTerm, que modela com precisão os processos em infraestruturas de OSW, num porto de *marshalling* ou numa instalação de fabrico.



Figura 1. Porto Eólico de Nova Jérsia, em construção.

### Modelo de simulação dinâmica aplicado a OSW

O FlexTerm é um programa de simulação tridimensional que permite a visualização de como mudanças num determinado processo podem afectar a capacidade, as operações, a eficiência e a rentabilidade de portos OSW. Alterando os dados e as variáveis do modelo, o sistema simula as operações propostas nas infraestruturas portuárias e compara o desempenho de vários cenários. Providencia um ambiente de baixo risco onde vários cenários hipotéticos podem ser executados para analisar o desempenho do porto. A avaliação destes cenários minimiza as interrupções nos terminais e otimiza a logística portuária, numa fase anterior a grande despesa do investimento. O processo da simulação dinâmica é ilustrado de forma esquemática na Figura 2.



Figura 2. Processo da simulação dinâmica.

Os dados podem ser fornecidos pelo cliente ou baseados em valores típicos da indústria que a Moffatt and Nichol desenvolveu com base na sua experiência. A simulação das condições reais é realizada através da variação nos tempos de chegada dos navios, nas taxas de carga e descarga dos navios e no tempo de resposta do navio de instalação, do porto ao local de instalação e de volta ao porto. Cada cenário é repetido várias vezes para a compreensão das



variações no sistema.

Os indicadores chave de desempenho incluem:

- Rendimento do terminal (GW por período de instalação);
- Estimativa do prazo de construção do projecto, através do planeamento e da identificação de datas chave;
- Utilização dos cais:
  - Cais de chegada dos componentes;
  - Cais de instalação;
  - Potencial partilha de cais com outras operações do terminal;
- Eficiência dos parques terrestres:
  - Monitorização do inventário de componentes, ao longo do tempo;
  - Alertas para inventário acima ou abaixo dos limites definidos.

Os benefícios da simulação dinâmica incluem:

- Fornece uma plataforma para cenários hipotéticos, testando-se planos logísticos de terminais portuários;
- Identifica e elimina potenciais pontos críticos do sistema, evitando-se perda de eficiência e de lucro;
- Estabelece os parâmetros espaciais necessários para o projeto e para o rendimento proposto;
- Testa múltiplos *layouts* e planos logísticos em ambiente de baixo risco;
- Otimiza virtualmente o sistema, antes do investimento CAPEX;
- Estima de receitas do projeto (termos de concessão e atividade nos cais).

O modelo à escala permite a visualização e a análise do desempenho dos cais e dos parques em terra. A operação, em tempo real, produz um planeamento antecipado do projecto e regista as datas chave. A Moffatt & Nichol usou este modelo para produzir com sucesso *digital twins* dos maiores portos OSW da Europa, o Porto de Esbjerg, e EUA, o Porto Eólico de Nova Jérсия. A modelação do Porto de Esbjerg triplicou a produção de GW de 1,5 para 4,5 GW por período de instalação.

### **Aplicação do FlexTerm ao Porto de Esbjerg**

O Porto de Esbjerg é o principal porto de *marshalling* de OSW da Europa, apoiando as atividades de pré-montagem, armazenamento e fabrico de componentes de geração das turbinas eólicas *offshore*.

À medida que a indústria OSW evolui, os componentes de geração das turbinas eólicas e os elementos de fundação são cada vez maiores e mais pesados. Os projetos nos próximos anos serão de instalação de componentes de 15 MW+. Estes componentes de maiores dimensões não podem ser transportados por estrada ou ferrovia, portanto, todos os componentes serão transportados por via marítima ou serão fabricados no local, aumentando, assim, a pressão sobre a disponibilidade de cais existentes.

A fim de se adaptar aos maiores componentes de geração das turbinas eólicas e à necessidade de receber todos os componentes pelo cais, o Porto de Esbjerg contratou a Moffatt & Nichol para o desenvolvimento de um modelo de simulação dinâmica dos terminais OSW de *marshalling* e de fabrico. Os objetivos deste modelo foram identificar problemas e constrangimentos e testar as soluções propostas.

Num conjunto de sessões entre o Porto de Esbjerg e a Moffatt & Nichol, foram identificados problemas existentes e criados cenários operacionais para testar e estabelecer os dados do modelo. Cada cenário foi testado no modelo. As eficiências identificadas foram mantidas na

lógica do modelo e os constrangimentos foram removidos. Através de um processo iterativo de modelação, a equipa trabalhou para o encontro da solução otimizada.

A abordagem utilizada no desenvolvimento do projecto foi a seguinte:

- Identificação de objectivos: maximizar a taxa de produção de GW sem prejudicar as restantes actividades comerciais existentes no porto;
- Compreensão em pormenor do mercado nacional e regional de OSW;
- Compreensão do porto e das operações existentes nos terminais, tanto para OSW como para outros tipos de carga;
- Aplicação da vasta experiência da Moffatt and Nichol em critérios para portos OSW, no desenvolvimento de possíveis *layouts* e proposta de cenários, testando-os através da modelação de simulação dinâmica;
- Análise dos resultados e recomendação do *layout* otimizado.

Desenvolveu-se um modelo base, calibrado com as operações existentes no porto, sobre o qual se testaram cenários futuros, baseados em cenários de planeamento portuário. Os cenários tinham como objectivo aumentar a capacidade do terminal, através do rendimento máximo dos componentes de geração das turbinas eólicas no terminal, criando áreas de *marshalling* distintas, operando de forma independente e simultânea.

Realizaram-se diversas repetições para produzir uma gama de resultados devido à variação no modelo na simulação dinâmica.

A Figura 3 apresenta uma imagem do programa com o modelo desenvolvido para o Porto de Esbjerg.

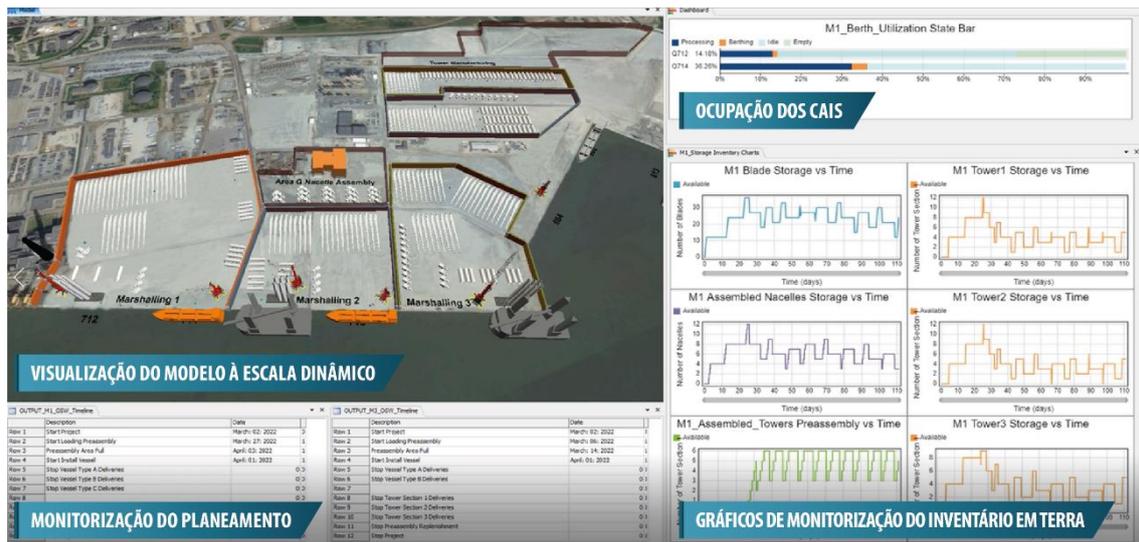


Figura 3. Imagem do programa com o modelo do Porto de Esbjerg.

O exercício de planeamento portuário e a modelação de simulação *digital-twin* resultaram num *layout* e em parâmetros operacionais que permitiram triplicar (1,5 GW para 4,5 GW) a capacidade por época de instalação de torres fundadas no terreno.