



APLICAÇÃO DE MÉTODOS INOVADORES PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS

Rubens Sabino, EXE-QUADRANTE, rubens@exeengenharia.com

RESUMO

A complexidade dos projetos marítimos, exige do projetista um elevado grau de especialização, não só no desenvolvimento do projeto destas estruturas, mas também no desenvolvimento de metodologias de construção para enfrentar os desafios inerentes à construção deste tipo de infraestruturas.

Como regra geral, os métodos construtivos são adaptados ao projeto estrutural, no entanto a natureza dos projetos marítimos não se encaixa neste paradigma. As soluções de engenharia para projetos portuários envolvem muitas vezes a instalação de fundações compostas por estacas e superestruturas de aço ou combinadas com estruturas em betão armado.

A forte integração entre o projeto estrutural e a metodologia de construção é um fator relevante para a execução destas estruturas. A definição e o conhecimento prévio da metodologia construtiva têm um elevado impacto e um papel extremamente importante na definição do projeto estrutural, configurando-se, facilmente, numa vantagem operacional e comercial, uma vez que tem um impacto significativo no planeamento e cronograma de construção, permitindo por vezes uma entrada antecipada da infraestrutura em operação.

O método cantitravel é um sistema que permite uma progressão dos trabalhos independentemente das condições meteorológicas e ambientais, eliminando completamente a utilização de equipamentos flutuantes. O cantitravel é composto por uma plataforma rolante que serve de apoio a guias e equipamentos de suporte à cravação e corte de estacas, e para a instalação dos elementos de suporte e ligação de todas as estruturas.

É um método de construção amplamente conhecido, no entanto as inovações surgem do desenvolvimento e utilização dos métodos conjugados com o desenvolvimento específico dos elementos estruturais, de forma a otimizar os ciclos de construção, a mobilização de mão-de-obra e equipamentos com o consequente aumento de produtividade.

O artigo incidirá sobre algumas das soluções mais inovadoras adotadas em quatro dos 25 projetos portuários desenvolvidos e construídos recorrendo a esta tecnologia e metodologia construtiva.

Estes 25 portos foram construídos com sucesso, recorrendo à adoção desta metodologia, no Brasil (9), Peru (7), Cuba (1), República Dominicana (1), Equador (1), Argélia (1), República do Djibouti (2), Somaliland (1) e Marrocos (2).



INTRODUÇÃO

Como referido acima a conceção de uma infraestrutura civil é, regra geral, desenvolvida sem ponderação dos métodos construtivos a utilizar, particularmente porque as técnicas construtivas dos projetos mais comuns são sobejamente conhecidas, (Construções metálicas, em betão armado ou sistemas mistos). Os métodos construtivos são, usualmente, escolhidos e adaptados de acordo com o projeto estrutural.

O presente artigo aborda o desenvolvimento de três exemplos distintos de estruturas marítimas distintas, *jetty* e respetivos berços de atracação, cais suportados por estacas e cais construídos com recurso a *combiwall*, as condições ambientais, físicas e restritivas em que estes foram desenvolvidos bem como a metodologia adotada para suprir os desafios inerentes.

Os projetos hoje apresentados, são exemplos da adoção do cantitravel como metodologia para construção destes três tipos de estruturas marítimas, demonstrando a versatilidade desta metodologia.

Abaixo ilustramos a localização de quatro projetos, onde esta metodologia de construção foi aplicada. O Terminal de combustíveis de Djibuti, o terminal de fertilizantes em Oman, Argélia, o terminal de contentores de Santos, no Brasil, o terminal de contentores de Posorja, Equador, e o terminal de contentores de Berbera na região da Somaliland.



Figura 1 – Localização de projetos onde o cantitravel foi utilizado como metodologia construtiva

Métodos construtivos e estruturas auxiliares

O Cantitravel

O cantitravel resulta da aplicação de uma lógica de value engineering combinando o desenvolvimento e otimização em paralelo da estrutura principal e do método construtivo resultando por fim numa economia significativa na construção da infraestrutura marítima.

Estas estruturas, cantitravel, são compostas por uma plataforma metálica deslizante – que serve de base a uma ou duas gruas e diversos equipamentos – e guias para localização, cravação e corte de estacas, e também o acabamento das ligações entre fundação e restantes elementos estruturais.

Este equipamento funciona apoiado nas estruturas definitivas, como viga travessa e estacas metálicas, posicionadas pelo próprio equipamento, dando assim seguimento aos ciclos de deslocamento e avanço para execução de todo trabalho.

A figura abaixo ilustra a disposição geral de um cantitravel tipo para a construção de um *jetty* num terminal de LNG. O sistema foi desenvolvido e planeado para permitir a construção de todos os elementos a partir da ponte de acesso, incluindo a montagem completa da superestrutura. A mesma estrutura foi posteriormente adaptada para a construção do cais de atracação e da plataforma de carregamento de LNG, com adaptações nas guias e sistemas de movimentação, mas mantendo todo o SWP (Steel Wheeled Platform) inalterado.

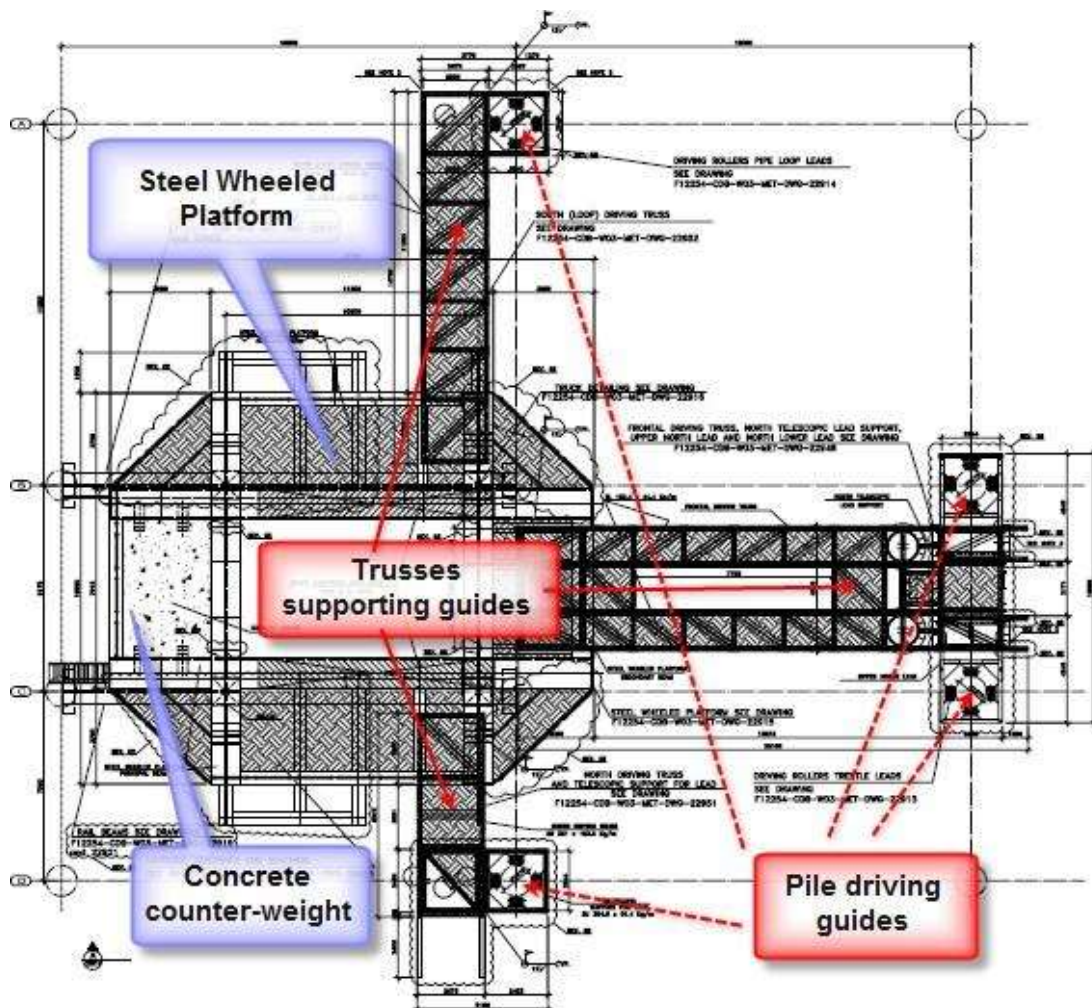


Figura 2 – Vista em planta do cantitravel – SWP e guias

O processo construtivo utiliza a SWP no topo de vigas longitudinais denominadas “trilhos-vigas” que possuem trilhos para guiar o SWP.

A adoção do cantitravel como metodologia principal na construção e cujo projeto é desenvolvido em conjunto com o projeto estrutural, resulta numa otimização dos ciclos de produção da obra e advém da conjugação de diversas variáveis de projeto, todas elas interdependentes, tais como o comprimento total do vão, o comprimento da consola das treliças, a escolha das gruas (que é também influenciada pelo peso dos elementos estruturais e capacidade de carga) e pelas restrições geométricas da própria estrutura marítima.

O processo inicia-se com a cravação de estacas de arranque. Na sequência, são montadas as vigas de topo transversais, seguidas da viga formada por vigas longitudinais e contraventamentos. Após o lançamento das vigas, faz-se a cravação das estacas metálicas posteriores, procede-se ao lançamento e colocação da viga travessa prefabricada.

As pré-Lajes dos tabuleiros também são içadas e lançadas por outro guindaste que circula sobre o tabuleiro construído, sendo a aplicação de betão de consolidação realizada em fase posterior ao lançamento de todas elas no vão do tabuleiro.

A cada ciclo completo, o SWP avança para a finalização da montagem e para iniciar um novo ciclo, com o reposicionamento das vigas. Um sistema de contraventamento temporário é utilizado para garantir a estabilidade de toda a estrutura nos vãos frontais.

A Figura 3 apresenta um conjunto de fotos que mostram a montagem do SWP e detalhes das rodas e treliças. A sequencia construtiva está ilustrada brevemente na figura 4. Os ciclos desenvolvidos para a construção da ponte de acesso de um *jetty* com estes métodos, com exceção da partida, atingiram uma produtividade média de um vão completo (fundação + superestrutura) a cada 1,8 dias, o que representa ganhos significativos no cronograma de construção e no uso de mão de obra.



Figura 3 – Montagem do SWP e treliças – Partida do processo construtivo



Figura 4 – Ilustração do arranque do cantitravel para construção de Ponte de Acesso



Figura 5 – Cantitravel sequência típica – Ponte de Acesso



EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DESTA METODOLOGIA CONSTRUTIVA

Terminal de Granéis Líquidos Doraleh – Djibuti

O Terminal de combustíveis de Doraleh está localizado no Djibuti, à entrada do mar vermelho. Constitui o único terminal que fornece combustíveis líquidos a países como o Djibuti, a Etiópia e até o Sudão do Sul e conta com capacidade de armazenamento de 371 000 m³ de combustível, e capacidade de bombagem de 2000 ton/hora por linha de abastecimento.

O projeto é de propriedade da Horizon Terminals e foi desenvolvido entre 2004 e 2006 pela ODEBRECHT Engenharia.

Breve Descrição do Terminal

- Terminal destinado à importação de combustíveis Líquidos.
- Acesso em aterro com 1.060 m de comprimento;
- Fundações com estacas tubulares em aço, decks de aço e lajes pré-fabricadas;
- Ponte de Acesso / pipe racks: 197,5 m de comprimento e plataformas de carregamento: 15 x 71,25 e 15 m x 56 m;
- Ligação entre as duas plataformas de carregamento: 14 x 75 m;
- 4 Duques de Alba para atracação.
- Embarcações: Cais principal 30.000 a 80.000 DWT e cais secundário 5.000 a 30.000 DWT
- Variação da maré: 2,9 m
- Velocidade da corrente: 1 nó

Fundamentos para escolha desta metodologia:

- Redução substancial de possíveis atrasos devido às condições meteorológicas, variação das marés, vento, correntes e ondas;
- Acesso facilitado de mão de obra e para fornecimento de materiais através da estrutura permanente já finalizada;
- Estruturas de molhe e cavalete projetadas principalmente com estruturas metálicas, reduzindo o ciclo/tempo para o método de construção:

Conceção da Estrutura Vs Metodologia de Construção

O passadiço de 1060 metros de extensão no início do acesso ao cais localizava-se nas águas rasas perto da costa. A ponte de acesso tem 197,50 metros de comprimento, composto por quinze vãos de 12,50 metros. Ambas as plataformas são constituídas por vãos longitudinais de 7,5 metros.

O cais e as estruturas da ponte de acesso foram projetadas principalmente com estruturas de aço adaptadas para o cantitravel.

O acesso inicial em aterro com proteção em enrocamento permitiu a antecipação das atividades no local durante a construção do cantitravel. O cantitravel foi utilizado para a construção da ponte de acesso e das estruturas da plataforma de carregamento e do cais de amarração. Para a execução dos duques de alba e respetivos passadiços foi utilizado um equipamento flutuante. O cantitravel foi projetado para ter suas rodas reposicionadas devido a mudanças de direção ao longo de seu caminho.



Figuras 6 e 7: Terminal de Granel Líquido Doraleh – Djibuti

Principais números

- Estruturas metálicas fabricadas e pré-montadas no Brasil e enviadas para o lado.
- Construção e instalação em 6 meses.

Terminal de exportação de fertilizantes ARZEW – Argélia

O terminal faz é parte integrante da Arzew Oman Fertilizer Company um complexo petroquímico ativo localizado em Oran, Argélia. O complexo iniciou suas operações comerciais em 2015 e atualmente possui capacidade anual ativa de 3,63 mtpa. O complexo é operado pela Argélia Oman Fertilizer Co.

É o maior complexo fabricante de fertilizantes de ureia do mundo, produzindo 4.000 toneladas de amônia e 7.000 toneladas de fertilizante de ureia por dia.

The largest urea fertilizer plant in the world, producing 4,000 tons of ammonia and 7,000 tons of urea fertilizer a day.

O projeto foi desenvolvido entre 2013 e 2015 pela DAEWOO E&C.

Breve Descrição do Terminal

Este trabalho compreendeu na adaptação do projeto estrutural a esta metodologia construtiva, para construção do *Jetty*, da plataforma de carregamento e do cais do Projeto de Fertilizantes Argélia/Omã.

- Terminal de Exportação de Ureia a Granel e Amônia Líquida;
- Ponte de Acesso: 1.200m de comprimento e Plataforma de Carregamento: 260 x 62m;
- Duques de Alba para atracação;
- Embarcações: até 60.000 DWT;
- Plataforma deslizante: 22,10 x 36,60 m;
- Capacidade (Guindaste de 300 toneladas e vãos até 20m)
- Ondas: Hs = 4,16 m para um período de retorno de 1 ano.

Abaixo apresentam-se duas imagens do cantitravel utilizado na construção da ponte de acesso com evidencia para as guias de cravação de estacas inclinadas.



Figura 7 e 8: Cantitravel utilizado na construção do *jetty* do terminal de exportação de fertilizantes ARZEW – Argélia

Fundamentos para escolha desta metodologia:

- As severas condições de hidráulica marítima locais e a área desprotegida não permitiam o uso de equipamentos flutuantes;
- Equipamentos pesados para cravação de estacas e estrutura de montagem eram necessários e indisponíveis na região. O equipamento a ser utilizado nas barças seria significativamente maior.

Conceção da Estrutura Vs Metodologia de Construção

Todas as estruturas projetadas para a construção do Cavalete foram adaptadas para realizar também a construção da Plataforma de Carregamento.

A estrutura em Cavalete foi composta por 60 vãos de 20m de comprimento e a plataforma por 27 eixos com vãos variáveis (11,5m e 9m de vãos). A fundação é constituída por estacas de tubos de aço de 60" de diâmetro. A superestrutura é formada por vigas e vigas de aço, soldadas e flangeadas.

A estrutura foi projetada para suportar um guindaste sobre esteiras de 300 toneladas e todos os equipamentos necessários às atividades de construção. O projeto permitiu que os trilhos do guindaste fossem paralelos ao eixo do cavalete para aumentar a capacidade do gráfico de carga para levantar estacas e lajes pré-moldadas no cavalete.

Embraport Container (3 Cantitravelers) – Brasil

O Terminal de Contentores de Santos, fica localizado numa área estratégica, com acesso por via marítima, rodoviária e ferroviária, na Ilha Barnabé, na margem esquerda da baía de Santos no estado de São Paulo, Brasil. Foi projetado para ser o mais importante e moderno Terminal de contentores do Brasil e conta com capacidade de movimentação anual de 1,2 milhões de TEU's e é propriedade da DPW – Dubai Ports World. Foi construído em 2010 pela Odebrecht Engenharia

Breve Descrição do Terminal

- Cais: 1100m suportado por estacas;
- Pátio de Contentores em aterro com uma área aproximada de 30ha;
- Embarcações: Post Panamax até 120.000 DWT.



- Fundações com estacas em betão prefabricadas, decks e lajes pré-fabricadas também em betão;

Fundamentos para escolha desta metodologia:

Devido à largura da estrutura, foram utilizados três cantitravelers para acelerar e otimizar o período total de construção.

Conceção da Estrutura Vs Metodologia de Construção

O cais foi dividido em 4 segmentos longitudinais, com comprimento total de 660m, constituídos por pré-fabricados e superestrutura de betão in situ suportado por estacas de betão com 90cm de diâmetro. Aos 660m de extensão foram adicionados numa fase posterior uma extensão de 440m, totalizando 1.100m de extensão de cais acostável.

As estacas são espaçadas longitudinalmente a cada 3,75m no eixo "A" e a cada 7,5m para os demais eixos ("B", "C" e "D"). Os métodos de construção incluíram o uso de três guindastes em três cantitravelers, trabalhando simultaneamente para levantar e cravar as estacas de betão. A montagem dos pré-fabricados foi realizada por meio de um pórtico rolante, independente da extensão dos cantitravelers.

Abaixo apresentam-se duas vistas áreas do projeto ilustrando na imagem da direita os 3 cantitravelers utilizados durante a fase de construção.



Figura 8 e 9: Vistas aéreas do terminal Embraport durante a construção e já concluído

Principais números

- Cais 15 m/semana/ cantitravel

Terminal Multiusos Posorja – Equador (2018)

O porto de águas profundas de Posorja, fica na localidade de Posorja no Equador e foi desenvolvido para ser tornar um dos mais importantes terminais logísticos da Costa Oeste da América do Sul potenciando a competitividade do país.

Conta com um cais com 480 m de extensão, e capacidade operacional anual de 750,000 TEU e é propriedade da DPW – Dubai Ports World. Foi construído em 2019 pela CHEC, China Harbour Engineering Cooperation.



Breve Descrição do Terminal

- Cais com 480m de comprimento, com fundações em estacas metálicas e superestrutura em pré-fabricados de betão.
- Dragagem da área até ao nível -16,5m;
- Embarcações: Post Panamax até 157.000 DWT;
- Variação da maré: 3,6m

Por que o método de construção cantitravel foi selecionado

- Cliente considera o cantitravel como metodologia de construção preferencial.
- A localização do cais em relação ao canal de acesso ao porto associado a condições ambientais desfavoráveis tornou o sistema cantitravel um método mais viável.

Conceção da Estrutura Vs Metodologia de Construção

O cais do Terminal Multiusos de Posorja está dividido em dois segmentos de 200m cada. Sob o cais, o dique é inclinado, criando diferentes comprimentos efetivos para as estacas de diferentes eixos. Todas as estacas são verticais, feitas de estacas tubulares de aço preenchidas com betão armado, espaçadas longitudinalmente a cada 6,30m.

As estacas são poços perfurados em terrenos argilosos e arenosos. A superestrutura é formada por cúpulas pré-fabricadas e com uma laje de cobertura moldada no local. Este esquema provou ser uma estrutura eficiente e durável sob condições sísmicas difíceis.

A estrutura foi construída utilizando dois cantitraveler, através de dois spreads de construção. As atividades de cravação de estacas e perfuração foram realizadas pelo spread principal, composto por um guindaste assente numa plataforma metálica deslizante. As atividades de montagem de pré-fabricados e betonagem in situ foram realizadas com auxílio de uma bomba de betão e um guindaste secundário na retro área do porto.

As figuras abaixo ilustram a dimensão e complexidade da construção deste terminal ilustrando os dois cantitravelers opostos utilizados na cravação das estacas.

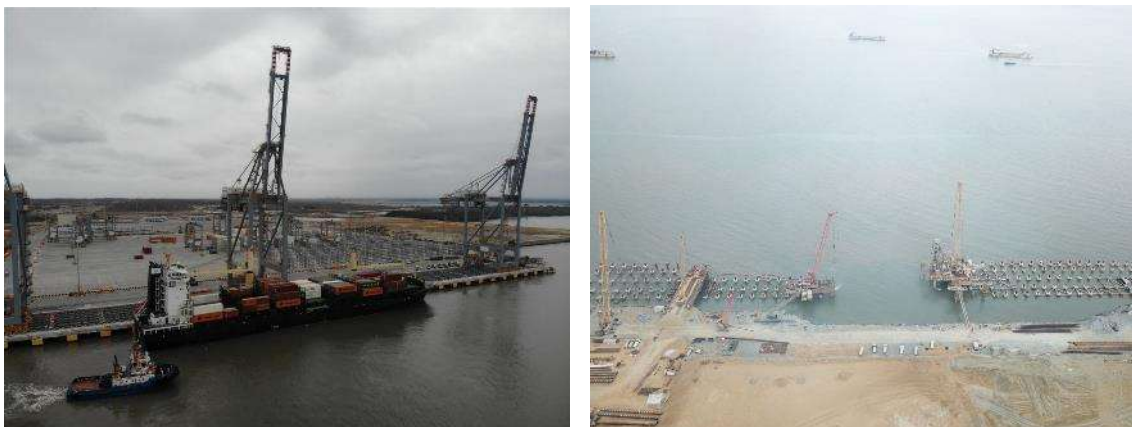


Figura 9: Terminal Multiusos Posorja – Equador

Principais números



- Cais 15 m/semana/ cantitravel

Terminal Multiusos de Berbera – Somaliland (2020)

O terminal de contentores de Berbera situado na cidade com o mesmo nome no Golfo de Adem na região da Somaliland foi um dos mais recentes e desafiantes projetos. Tem capacidade para albergar navios tipo Post Panamax, conta com um cais com 400 m de extensão com 17 m de calado e capacidade operacional de 500.000 TEU's por ano. O terminal também inclui um moderno pátio de contentores com oito pórticos RTGs e três guas STS. O terminal foi desenvolvido para a DP World pela construtora dos UAE Shafa Construction.

Breve Descrição do Terminal

- Terminal: Cais com 400m
- 25ha de pátio de contentores.
- Dragagem da área até ao nível -17m;
- Embarcações: Post Panamax até 157.000 DWT;

Por que o método de construção cantitravel foi selecionado

- Cliente (DP World), considera o cantitravel como metodologia de construção preferencial.
- A análise inicial demonstrou ser uma solução económica e tecnicamente viável para este projeto que foi desenvolvido em condições difíceis e localizado num ambiente desafiante.

Conceção da Estrutura Vs Metodologia de Construção

O cais do terminal de Berbera foi desenvolvido utilizando uma solução inédita de sistema de cantitravel aplicado a uma obra com *combiwall* com dois guindastes para aumentar a rapidez de execução.

O cantitravel foi desenvolvido para construir o cais suportado no *combiwall* na linha do cais e nas estacas do muro ancora. Este *combiwall* é composto por estacas tubulares em aço intercaladas com estacas prancha instaladas de forma a constituir um muro de contenção. O projeto compreende a construção em *combiwall* de 400m de cais de atracação para navios Post panamax de última geração, uma área total de pátio de contentores e todas as estruturas de apoio.

As figuras que se seguem demonstram a dimensão do terminal, e o cantitravel utilizado na construção do *combiwall*, composto por duas guas de 350 Ton de capacidade.



Figura 10: Terminal Multiusos Posorja – Equador

Principais números

- Produtividade: Cravação de 5 estacas / dia

Referências Bibliográficas

Artigos:

Sabino, L.S., Tepedino M., Hueb M. & Filho R.C.S. (2006). Offshore Bulk Terminals in Developing Countries – Innovative Techniques for Construction, 31st PIANC world Congress, Estoril, Portugal.