

Estudo do Comportamento Estrutural da Ponte Militar Mabey&Johnson – Soluções para Aumentar a Capacidade de Carga e Comprimento de Montagem

Eduardo Miguel da Silva Osório

Escola da Guarda
Academia Militar
Vila Real, Portugal
osorio.ems@gnr.pt

José Oliveira Pedro

Dep. Engenharia Civil, Instituto Superior
Técnico
Universidade de Lisboa
Lisboa, Portugal
jose.oliveira.pedro@tecnico.ulisboa.pt

Pedro Matias

Centro de Competências para a Proteção de
Infraestruturas, Academia Militar
Exército Português
Lisboa, Portugal
matias.pjsg@exercito.pt

Resumo — As pontes logísticas militares são, desde a década 30 do século XX, indispensáveis em vários teatros de operações possibilitando transpor obstáculos com elevada rapidez, tais como cursos de água. Procurando aumentar o comprimento de vão bem como a capacidade de carga da mais recente ponte logística militar em Portugal, Ponte Mabey, elaboraram-se vários modelos numéricos de elementos finitos, aferidos com outros estudos, os quais pretendiam avaliar a capacidade de carga da ponte para uma configuração de montagem de um tabuleiro contínuo com dois vãos longos de 57.91 m. Tendo em consideração as limitações de capacidade de carga encontradas para a configuração estudada, tanto para tráfego de natureza militar como civil, avaliaram-se várias possíveis soluções de reforço, desde a alteração geométrica da ponte a alterações de secção e adição de novos elementos. Uma vez definida uma solução possível de ser utilizada, realizou-se o estudo da montagem da ponte por lançamento incremental, a partir da solução proposta pelo fornecedor e um lançamento que foi possível acompanhar e estudar, na Companhia de Pontes do Regimento de Engenharia n.º 1, que serviu como referência no estudo do lançamento da ponte.

I. INTRODUÇÃO

A Ponte Mabey & Johnson é principalmente utilizada pelo Exército Português em operações militares e, quando solicitada ou em casos de emergência, no apoio à população. As múltiplas configurações possíveis associadas à sua velocidade de montagem/desmontagem têm levado a um aumento da sua utilização, quer em cenários de desastres naturais, quer como substituição temporária de pontes. De acordo com o manual técnico do fabricante, a utilização da ponte é restrita às configurações predefinidas, dependendo do vão pretendido e da carga a ser superada. Porém, com os diversos usos da ponte, há interesse em estudar mais detalhadamente o funcionamento e os seus condicionantes, para que novas configurações possam ser definidas para alcançar vãos mais longos e maior capacidade de carga. Para o estudo da Ponte Mabey & Johnson, normalmente chamada de "Mabey", foram utilizados modelos numéricos computacionais, os quais foram desenvolvidos para simular o máximo possível a realidade. A validação do modelo numérico foi feita por meio de testes experimentais. Os principais objetivos deste estudo são avaliar o comportamento estrutural da

ponte Mabey, tanto em condições de serviço como para os estados limites últimos, para diferentes cenários. Para o efeito, foi desenvolvido um modelo numérico, devidamente calibrado, com base nas propriedades catalogadas dos componentes da ponte e com base em modelos previamente executados, de forma a desenvolver um modelo consistente para os vários cenários com os quais a ponte irá ser operada.

II. DESCRIÇÃO DA PONTE MABEY

Possui uma conceção baseada na ponte militar Bailey, porém, com altura longitudinal mais reduzida e perfis mais leves, devido à melhoria da qualidade do aço. A sua configuração consiste, basicamente, em 2 planos verticais de treliças ligados por um plano horizontal perpendicular de carlingas. Os planos de treliças podem ser constituídos desde 1 a 3 treliças dispostas em paralelo, denominando-se de configuração simples, dupla e tripla sucessivamente. Tanto nas cordas superiores como inferiores podem ser adicionadas barras suplementares de forma a aumentar a capacidade resistente da ponte (Figura 1).

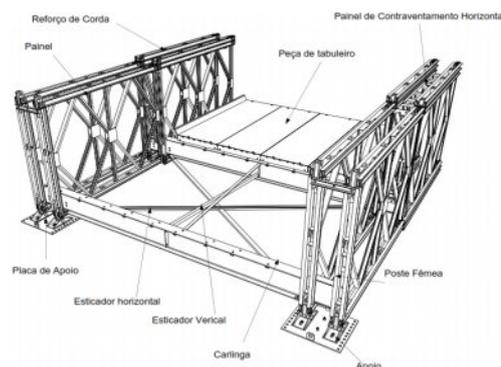


Figura 1. Esquema-Tipo da Ponte Mabey

O seu lançamento pode ser realizado através de 2 formas: recorrendo a uma grua que içe a ponte de forma a colocar na posição final ou através de lançamento incremental, no qual, se lança a ponte de uma das margens, adicionando painéis sucessivamente na retaguarda, até esta chegar à margem oposta.

III. AÇÕES CONSIDERADAS

A. Sobrecargas Civis

Tendo em conta a natureza temporária da estrutura e a sua grande flexibilidade, considera-se apenas a ação das sobrecargas de tráfego. No EC1 – Parte 2 (CEN, 2003) definem-se larguras convencionais de via de tráfego correspondentes a 3 m. No caso de faixas de rodagem inferiores a 5.4 metros deve-se adotar-se uma largura de via para “Via 1” de 3 m, sendo o restante considerado como “resto”. Neste caso, tendo o tabuleiro uma largura útil de 4.2 m considera-se: 3 m de “Via 1”, sujeito ao carregamento uniforme de 9.0 kN/m² e o restante 1.2 m sujeito a 2.5 kN/m² (Figura 2).

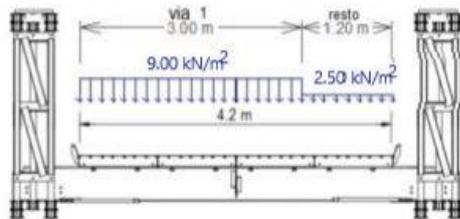


Figura 2. Sobrecarga Civil (Pereira, 2014)

B. Sobrecargas Militares

Relativamente às sobrecargas militares procurou-se utilizar a viatura mais pesada dos Exércitos da NATO. Segundo o STANAG 2021 (2017) a viatura de lagartas com a mais elevada MLC (Military Load Classification) é a Viatura Blindada de Lagartas LEOPARD 2, com aproximadamente 60 toneladas correspondente a uma classificação MLC70 (Figura 3).



Figura 3. Da esquerda para a direita: Leopard 2 e Modelo de cálculo utilizado

IV. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE EXISTENTE

De forma a ser possível aumentar o comprimento de montagem da ponte Mabey optou-se por utilizar um apoio intermédio de continuidade, conenctando 2 vãos de 57.91 m de comprimento cada. Seguidamente, procedeu-se à verificação da capacidade de carga real desta configuração da ponte.

A. Sobrecargas Civis

Verifica-se apenas se for considerada a passagem de viaturas ligeiras simultaneamente, isto é, 2.5 kN/m². Caso sejam viaturas isoladas estas não deve ultrapassar as 60 toneladas.

B. Sobrecargas Militares

Verifica-se considerando a passagem de uma viatura, isoladamente, com peso não superior a 60 toneladas correspondente a um MLC70.

V. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL COM ALTERAÇÕES À PONTE EXISTENTE

A. Aumento da Distância entre cordas

A configuração inicial da ponte Mabey possuía painéis com altura variável. De igual forma, tendo atualmente o painel “standard” uma altura de 2.13 m, respeitando a relação do painel final ser 1.5 vezes maior, criou-se um painel que fez a transição de 2.13 m para 3.2 m (Figura 4).

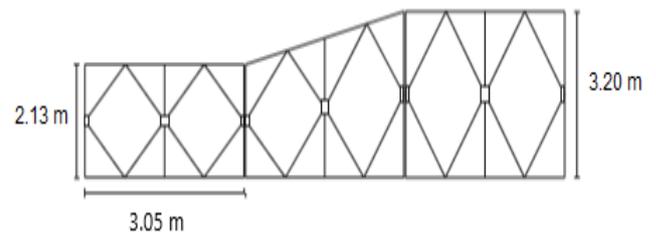


Figura 4 - Configuração adaptada ao modelo em estudo

As verificações de segurança foram realizadas com sucesso para as sobrecargas militares, no entanto, para as sobrecargas civis as diagonais foram ainda mais condicionantes uma vez que o comprimento de encurvadura aumentou nos painéis de maior altura, sem o correspondente aumento da sua secção resistente. Assim sendo, esta solução foi excluída.

B. Sobreposição de Páineis

À semelhança de outros tipos de pontes militares, mais especificamente a ponte Bailey, a ponte Mabey permite a montagem com sobreposição de painéis em altura como forma alternativa de aumentar a sua capacidade resistente (Figura 5).



Figura 5- Utilização de painéis sobrepostos no Reino Unido, adaptado de Mabey Bridge 2020

A verificação do ELU de resistência foi assegurado para as sobrecargas militares com bastante margem em todas as secções. No entanto, para as sobrecargas civis que correspondem a um valor bastante superior de sobrecarga no apoio intermédio a segurança das diagonais não é assegurada. De facto, ao se acoplar dois painéis em altura aumenta-se muito a capacidade das cordas, mas não se altera o caminho de carga pelas diagonais comprimidas para o apoio intermédio, mantendo-as condicionantes no dimensionamento. Assim sendo, esta solução foi rejeitada.

C. Alterações das secções das diagonais e cordas

Uma solução alternativa às anteriores corresponde ao reforço dos elementos que constituem os módulos da estrutura, com a adição de chapas de aço soldadas ou aparafusadas aos perfis nas secções condicionantes do dimensionamento (Figura 6).

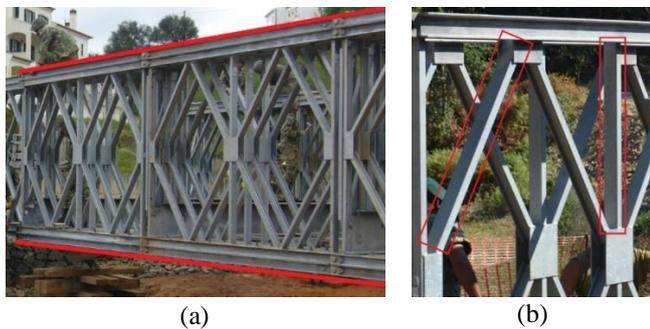


Figura 6 - a) Reforço das cordas e b) Reforço das diagonais

Esta solução permitiria verificar a segurança dos elementos tanto para sobrecargas civis e sobrecargas militares, mas mantinha-se a dificuldade de verificação da ligação entre elementos, dado que não era alterada a forma de ligação entre eles. Nomeadamente, seria necessário alterar os parafusos M24 cl. 8.8 para M27 cl. 10.9 na ligação entre as cordas e os reforços das cordas. Todas estas intervenções não constituem uma boa solução, uma vez que configuram uma intervenção profunda nos elementos da estrutura e das ligações, a realizar em oficina para assegurar o necessário controlo de qualidade.

D. Duplicação do Reforço-Corda

Tendo-se testado várias possíveis soluções de reforço, de forma a verificar as sobrecargas tanto civis como militares, chegou-se a uma solução final que consiste em:

- Duplicar os reforços das cordas, tanto na corda superior como na corda inferior (a vermelho na Figura 7);
- Colocar chapas metálicas de 10 mm nas diagonais dos módulos de extremidade e nos cinco módulos

para ambos os lados relativamente ao apoio intermédio (a verde na Figura 7);

- As ligações devem ser alteradas de parafusos M24 cl 8.8 para M24 cl 10.9 entre a corda e o reforço da corda (círculos a preto da Figura 7).



Figura 7. Reforços/alterações representadas num painel-tipo

VI. PROCESSO DE MONTAGEM

O processo de montagem das pontes militares é, na maior parte das vezes, realizado através do lançamento incremental (Figura 5), no qual vários painéis vão sendo acoplados e lançados através de apoios rolantes até chegar à margem contrária ao lançamento. Sendo esta fase considerada como uma das fases mais críticas realizaram-se verificações de segurança, no lançamento da solução encontrada, tendo-se aferido que, para verificar a segurança ao ELU, é necessário ter pelo menos dois apoios em cada plano vertical de treliças.



Figura 8. Lançamento incremental da solução no modelo SAP

Outra grande preocupação a ter no processo de montagem por lançamento incremental é verificação de apoios, que leva a que tabuleiro “descole” dos apoios. De facto, este fenómeno pode ocorrer dado que a estrutura se apoia unicamente nos apoios por ação do seu peso, não havendo um mecanismo que a obrigue a estar apoiada nos roletes. Consequentemente, é impossível ocorrer tração nos apoios pelo que na prática tal significa que a ponte estará nesse caso descolada desse mesmo apoio e com um vão livre maior. Contudo, no tipo de análise elástica linear realizada assume-se que o apoio pode ter compressões ou trações. Assim, houve necessidade de aferir de forma iterativa que apoios se encontravam efetivamente à compressão, sendo consequentemente retirados do modelo de análise, tendo-se verificado que para a posição condicionante de lançamento, apenas 3 apoios das 6 iniciais se encontram efetivamente a desempenhar funções estruturais conforme se pode observar na Figura 9.



Figura 9. Apoios à compressão na fase de lançamento mais condicionante

VII. CONCLUSÕES

O estudo realizado conduz às seguintes conclusões:

- A configuração de dois vãos contínuos com 19 módulos (57.91 m cada um) não verifica a segurança regulamentar para as sobrecargas civis, e apenas permite a passagem de uma viatura militar MLC70, caso se utilizem os fatores de majoração conforme a BS 5400-2, utilizada no dimensionamento da estrutura;
- É possível verificar a segurança para o ELU de resistência caso se considerem apenas passagem de viaturas ligeiras e, caso se pretenda o atravessamento pontual de uma viatura de maior tonelage, esta não deve ultrapassar as 60 toneladas;
- Para o reforço da estrutura, o aumento localizado da distância entre cordas utilizando sobre o apoio intermédio módulos de 1.5 x altura dos módulos correntes não é uma solução aconselhável, uma vez que não resolve a falta de capacidade de carga das diagonais comprimidas próximas do apoio intermédio, que se mantêm condicionantes na verificação de segurança;
- A sobreposição de painéis, ainda que tenha conduzido a um aumento da resistência bastante considerável das cordas, continua a ter as diagonais comprimidas que encaminham as cargas para o apoio intermédio como condicionantes no dimensionamento;
- A alteração das secções transversais dos módulos das treliças, através da adição de chapas de aço verifica a segurança das secções, no entanto, as ligações entre módulos teriam de ser também reforçadas, o que consiste no conjunto a uma intervenção profunda na estrutura existente;
- A melhor solução de reforço para assegurar o ELU de resistência para a passagem das sobrecargas civis e militares consiste na duplicação do reforço corda, e a adição de chapas de aço de 10 mm nas diagonais de 12 dos 38 módulos e o aumento da classe dos parafusos de ligação das cordas aos reforços-cordas para M24 cl. 10.9;
- Ao longo do processo de montagem da estrutura, na posição mais condicionante de lançamento, há três

apoios intermédios à tração que não desempenham qualquer função estrutural não devendo ser considerados efetivos;

- Apesar de no catálogo ser utilizado apenas um apoio por cada plano triplo de treliças, a verificação da segurança para o ELS característico requer a utilização de dois apoios e para assegurar o ELU de resistência regulamentar são necessários três apoios em paralelo.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação não teria sido possível sem a ajuda direta das seguintes pessoas e entidades:

- Professor Doutor José Oliveira Pedro, orientador da tese, pela disponibilidade e entusiasmo que demonstrou durante toda a tese;
- Tenente-Coronel Pedro Matias, coorientador da tese, pela disponibilidade, preocupação e sugestões que foram muito importantes para a tese;
- Companhia de Pontes do Regimento de Engenharia n.º 1 de Tancos pela abertura que tiveram para poder participar numa montagem da ponte Mabey;
- À minha família e namorada pelo apoio durante a realização da tese e também em todo o meu percurso académico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] BSI. (2000). Steel, concrete and composite bridges - Part 2: Specification for loads. doi:ISBN 0 580 09939 3.
- [2] CEN. (2005). Eurocódigo 1 - Ações em estruturas; Parte 2: Ações de tráfego em pontes. I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [3] CEN. (2010). Eurocódigo 3 - Projeto de Estruturas de Aço. Portugal. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [4] Diário da República. (30 de julho de 1983). REBAP . 7.º Suplemento. Obtido de <https://dre.pt/application/conteudo/435595>
- [5] North Atlantic Treaty Organization. (setembro de 2017). NATO Standard. Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles(1).
- [6] Pereira, R. M. (2015). Comportamento Estrutural de Pontes Logísticas do tipo Mabey do Exército Português. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.