

Ponte autoportante de Leonardo da Vinci

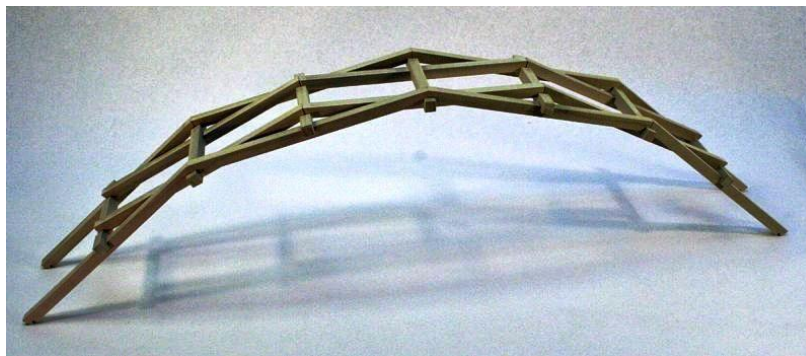
1. Introdução

Entre as diversas ideias do inventor italiano Leonardo da Vinci (1452 – 1519) está a ponte autoportante: ponte leve, forte, fácil de montar e desmontar e que se mantém estruturada graças ao seu conjunto de barras encaixadas de uma maneira genial. Não se trata de uma ponte largamente utilizada hoje em dia, porém, foi uma técnica revolucionária para a época, juntamente com outros modelos de pontes projetadas por Da Vinci, que proporcionou a curiosidade e estudo de estruturas autoportantes.

2. Estruturas

A maioria das pontes desenhadas por Leonardo Da Vinci datam dos primeiros anos após sua chegada a Milão em 1482. A Ponte Autoportante é certamente a mais engenhosa por sua simplicidade construtiva e estrutural (Figura 1). Trata-se, de fato, de uma estrutura constituída por vigas simples de secção circular (no projeto original) para serem montadas sem necessidade de fixações ou juntas. Uma vez montada, o peso da ponte deve ser suficiente para exercer a pressão necessária para que as vigas longitudinais travem as transversais, semelhante ao efeito de uma tesoura, evitando que a estrutura desmorone. Quanto maior a pressão na parte superior da ponte, maior a sua estabilidade [01]; [02].

Figura 1 – Exemplo de ponte autoportante de Leonardo da Vinci

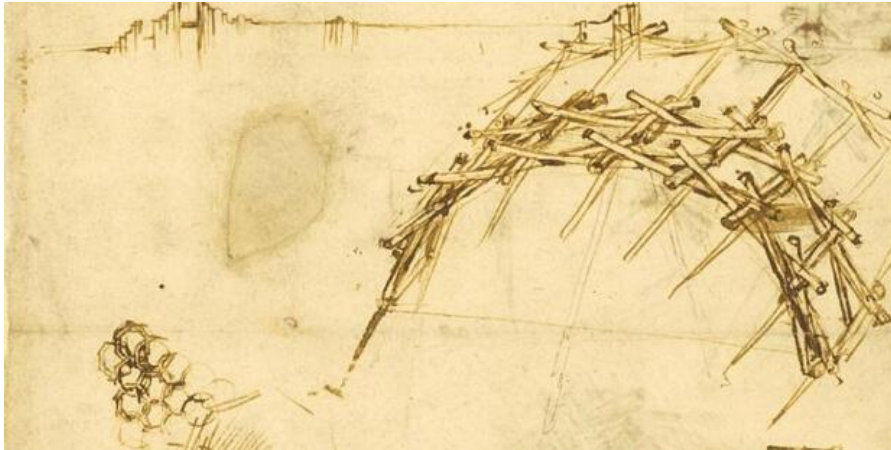


Fonte: [03]

O modelo original foi feito à base de pedaços de troncos leves para serem transportados e montados, isto permitia, por exemplo, a passagem rápida e imprevisível de tropas sobre um rio, contribuindo para o fator surpresa, geralmente fundamental para

o sucesso de uma batalha [04]; [05]. O uso militar, inclusive, foi a principal aplicação na época, pois Leonardo desenvolveu o projeto para Cesare Borgia (Figura 2), com quem trabalhou como engenheiro militar.

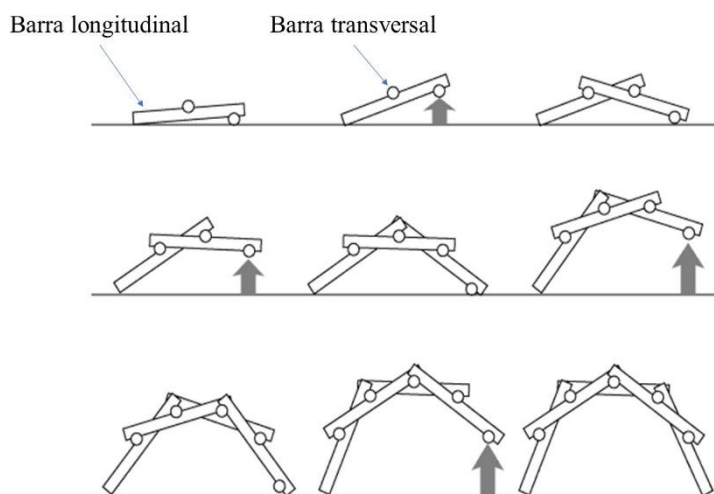
Figura 2 – Esboço da Ponte autoportante criado por Leonardo



Fonte: [06]

Na ilustração a seguir (Figura 3) é possível ver que há dois tipos de barras: as barras longitudinais (representadas por retângulos, por causa da vista mostrada) e as barras transversais (representadas por círculos na vista). A montagem é realizada de uma ponta a outra, em uma sequência intercalada de barras longitudinais e transversais. O vídeo no link abaixo exemplifica a construção de uma ponte com vão de 10m.

Figura 3 – Montagem da ponte autoportante

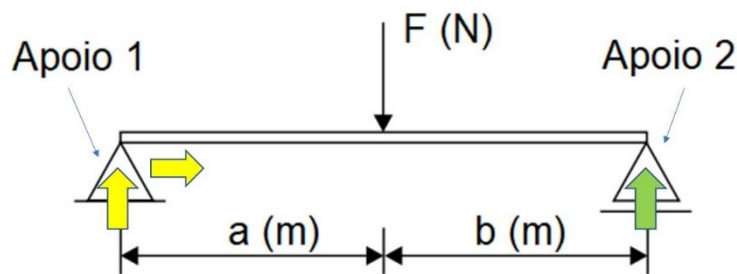


Fonte: [07]

Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=ybsIi9h-ROI>

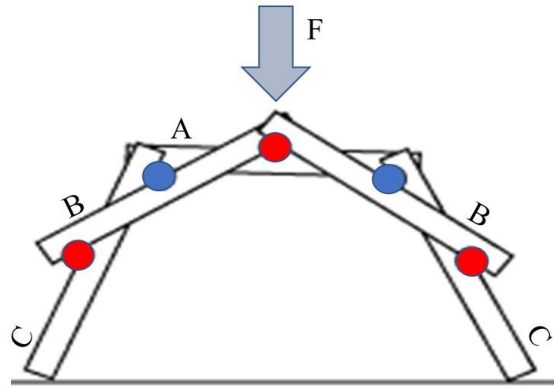
Percebe-se que cada barra longitudinal funciona como uma viga biapoiada (Figura 4), ou seja, uma barra com dois apoios. Na Figura 4, o Apoio 1 é chamado de apoio duplo, pois impede o movimento perpendicular e paralelo ao eixo da barra (reações em amarelo). Enquanto o Apoio 2 é chamado de apoio simples, pois impede apenas o movimento perpendicular (reação em verde). Essa combinação de barra + apoio simples + apoio duplo é interessante para que a barra não se desloque em nenhuma direção. Uma força F colocada na barra será descarregada nos seus apoios, desde que esta barra tenha resistência necessária para transmitir aos apoios. A intensidade descarregada em cada apoio dependerá do posicionamento da força na barra – medidas ‘a’ e ‘b’ na Figura 4.

Figura 4 – Viga biapoiada com carga concentrada aplicada



Ao observar a estrutura da ponte, constata-se que as barras transversais têm o papel dos apoios. Por exemplo, na Figura 5, a barra nomeada como A se apoia nas barras transversais azuis. As duas barras nomeadas como B se apoiam nas barras transversais vermelhas.

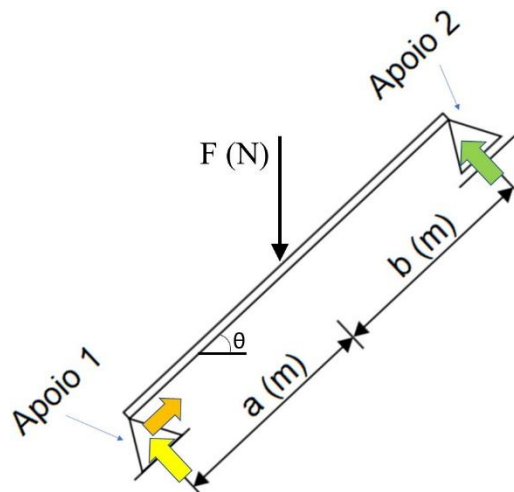
Figura 5 – Barras transversais como apoios



Na Figura 5 foi colocada uma força F no centro da barra A, simulando a passagem de uma carga sobre a ponte. A barra A descarregará esse carregamento nos apoios azuis. No entanto, os apoios azuis estão sobre as barras B, logo, os apoios azuis são as cargas (as forças) nas barras B. Agora a parte curiosa: cada barra B, com seu carregamento no centro e apoios vermelhos, descarrega na barra chamada de C e na barra A. Ou seja, a força que age no centro da barra A é maior que a força F ! Claro que isso não chega a ser uma vantagem, pois quanto maior a força na barra, mais robusta ela precisa ser para resistir.

Há uma variável que não foi mencionada: o ângulo (θ) de cada barra (barra A, barra B, barra C...). Ao realizar os cálculos a partir da barra central ($\theta=0$, barra que recebe o carregamento), verifica-se que ocorre uma transferência das forças para a barra seguinte. Conforme o cálculo avança em direção a margem, as barras apresentam maior inclinação (ângulo θ maior), de maneira a exigir mais do apoio duplo (Apoio 1), que impede o movimento paralelo ao eixo da barra (reação laranja) (Figura 6).

Figura 6 – Barra biapoiada com inclinação θ em relação à horizontal



Neste sentido, o apoio inferior precisa ser do tipo apoio duplo, de maneira a impedir o deslocamento no sentido do eixo da peça. Por isso que as barras longitudinais de madeira do vídeo anterior tinham um encaixe. Além disso, as barras mais centrais (barra A, por exemplo) apresentam principalmente o esforço chamado de flexão e as barras das margens (barras C) apresentam o esforço de compressão, além de uma flexão menos acentuada [08].

3. Considerações finais

A ponte criada por Leonardo Da Vinci mostra-se uma estrutura bastante interessante para se analisar. Apesar da sua facilidade de montagem, proposta original do inventor, apresenta uma distribuição de cargas única, tal como a inovação, bem além de seu tempo.

Referências

[01] LIMA, G. F. A.; PERASSI, R.; TRISKA, R. **O design de Leonardo da Vinci do ponto de vista filosófico e científico**. Colóquio Internacional de Design, 2017.

[02] HIPÁTIA ENGENHARIA. **Ponte de Leonardo da Vinci (Self-Supporting Bridge)**. Disponível em <http://www.hipatiaengenharia.com.br/2022/08/ponte-de-leonardo-da-vinci.html>, 2022.

[03] LEONARDO DA VINCI. **Ponte autoportante**. Disponível em <https://www.leonardodavinci-italy.it/ponte-autoportante>, 2022.

[04] SCANTAMBURLO, A. C.; et al. Building the Da Vinci's Self Supporting Bridge. **Alive Engineering Education: Transforming and Innovating Engineering Education**, p. 29-35, 2017.

[05] MORUMBI SUL. **Construindo pontes com Da Vinci**. Disponível em <https://morumbisul.com.br/construindo-pontes-com-da-vinci/>, 2021.

[06] ENGENHO E ARTE. **A ponte de emergência para a outra margem de Leonardo Da Vinci**. Disponível em <https://www.engenhoearte.info/post/a-ponte-de-emerg%C3%Aancia-para-a-outra-margem-de-leonardo-da-vinci>, 2020.

[07] NA ENGENHARIA!. **A Incrível Ponte Projetada por Leonardo Da Vinci**. Disponível em <http://naengenhariablog.blogspot.com/2017/01/a-incrivel-ponte-projetada-por-leonardo.html>, 2022.

[08] ABAD, Carla Torres. Eficiencia del puente autoportante de Leonardo. **Técnica Industrial**, v. 328, p. 30-37, 2021.