

UNIVERSIDADE DE SÃO CARLOS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS



Métodos Numéricos para Engenharia I

SME0301 – 2013

Prof. Dr. Gustavo C. Buscaglia

Grupo 10

Klynsmann Diogo C. Bagatini

Lais França

Luiz Gustavo Silveira Chaves

Marcus Vinicius Felix Ribeiro

Mariane Reis

Mario Wandaleti Amoroso

Mateus Michelin

Objetivo:

Reduzir ao mínimo, dentro do possível, o número de apoios na parede em um sistema de treliças (ponte) da seguinte forma: Deve ser desenhada uma ponte de largura 8, feita com barras de largura máxima 1.5 e constante elástica $k = 1000$. As primeiras 8 barras e 9 vértices devem ser os da figura (numeradas de esquerda a direita), para sustentar a pista. A treliça deve ser completada de alguma maneira, mostrando-se na figura um exemplo em linha pontilhada.

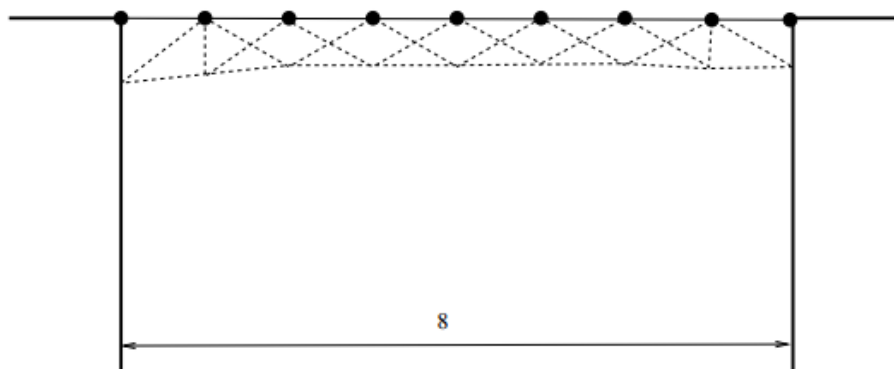


Figura 1 – Esquema da ponte (inicial)

O desenho deve ser tal que nenhuma barra suporte uma tensão maior do que 5 (em módulo), que é o limite de admissibilidade. A ponte deverá suportar seu próprio peso (considerado como um peso equivalente por vértice de 0.01, sendo que a gravidade é 1), e o de no máximo 4 caminhões de peso 2 cada um, sendo que por motivos de espaço pode haver ou 0 ou 1 caminhão em cada nó da pista.

Procedimento:

Inicialmente, criamos o seguinte sistema: uma ponte formada por apenas barras de tamanho 1 (verticais e horizontais) e de tamanho 1,4142 (diagonais). Com isso, foi feita uma ponte de tamanho 8x8, totalmente preenchida com barras e com 9 apoios de cada lado, como na figura:

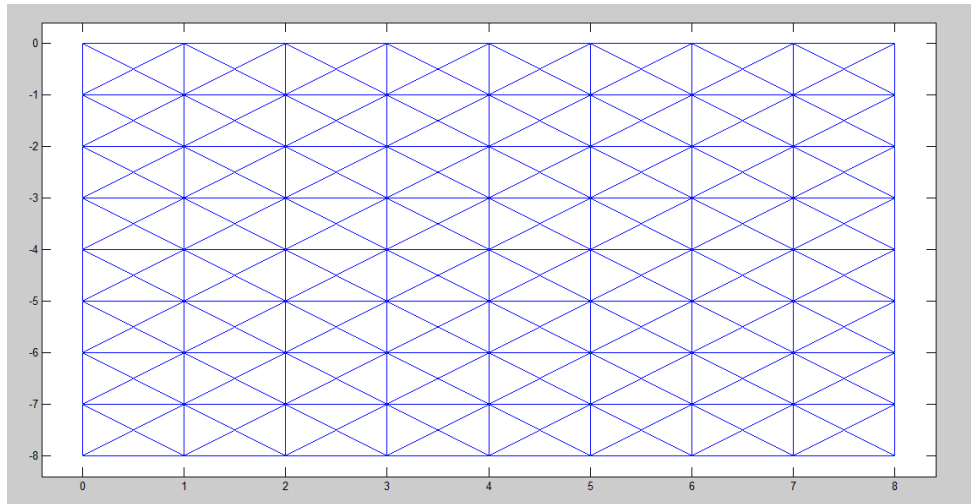


Figura 2 – Ponte nº1

Para a criação da ponte, criamos o arquivo “nos.txt”, com as coordenadas variando de $x = 0$ a $x = 8$ e $y = 0$ a $y = -8$, totalizando 81 vértices. Depois disso, para criar o arquivo “barras.txt”, utilizamos o Microsoft Excel, que, sabendo das configurações da primeira “fileira” de barras, manteve a lógica do programa e criou as outras barras, totalizando 272 barras.

Calculando as tensões nas barras e observando os resultados com base no objetivo do trabalho (reduzir apoios), sabendo que quanto maior a distância entre os apoios, melhor é a resistência que eles criam na estrutura, retiramos os apoios dos pontos no “meio” da ponte, deixando apenas quatro pontos: os dois pontos na ponta da base e os dois pontos na última fileira, como estão colocados em vermelho na figura a seguir:

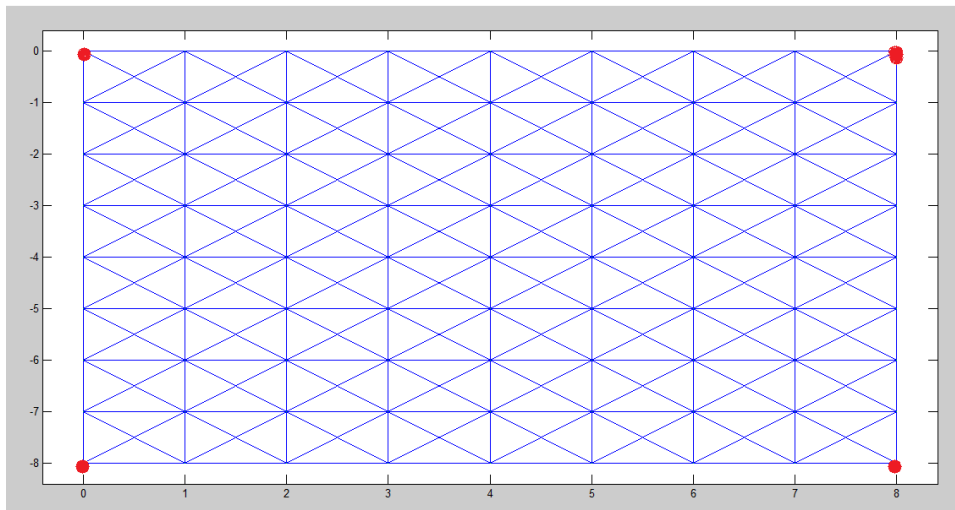


Figura 3 – Ponte nº 1 (apoios em vermelho)

Assim, conseguimos atingir um número mínimo de apoios, porém a estrutura ficou com um número de barras muito grande. A partir disso, o que fizemos foi retirar as barras que não estão ou estão muito pouco sendo tensionadas, mantendo a tensão nas barras sempre menor que a máxima admissível.

Primeiramente, retiramos fileiras inteiras, de baixo para cima, sempre observando se o limite foi atingido. Após chegarmos no menor número de fileiras, estávamos na seguinte configuração:

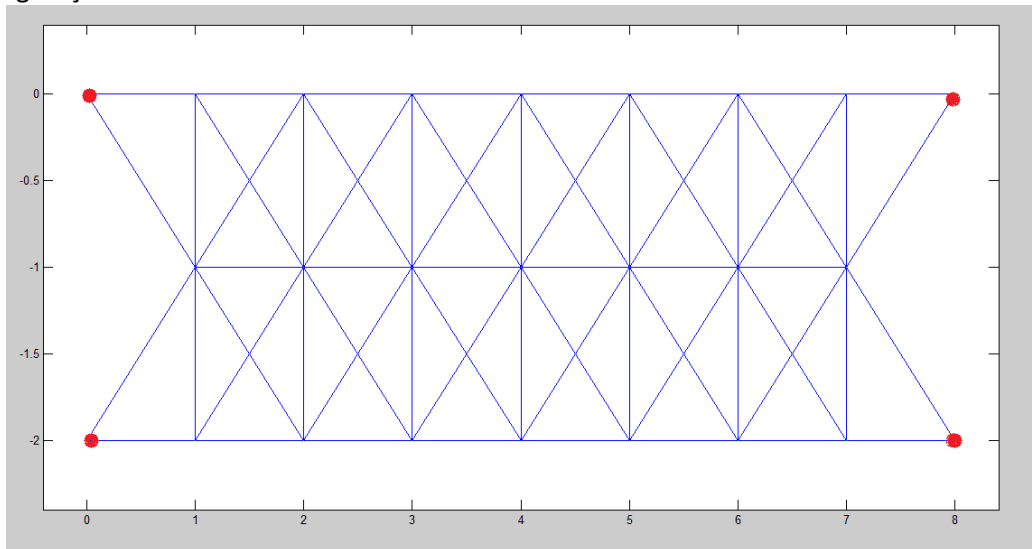


Figura 4 – Ponte nº2

Observe que retiramos as barras na lateral, pois não era viável coloca-las, já que queríamos um numero menor de apoios, nesse caso, quatro. Para a configuração que estávamos testando, a ponte aguentou corretamente todo o peso. Porém, ao fazer o teste com outras configurações, observamos que a primeira barra diagonal da esquerda passou do limite de tensão.

Essa informação nos fez procurar um modelo de ponte que aguentasse um peso maior, além de distribuir melhor as forças, já que tivemos problema em uma única barra. Assim, para a otimização da ponte, realizamos uma pesquisa em estruturas de pontes treliçadas e encontramos uma configuração extremamente utilizada e com características muito semelhantes à que estávamos buscando: as pontes em arco (no caso, ogiva), como na figura abaixo, que serviu de base para a nossa ponte oficial.

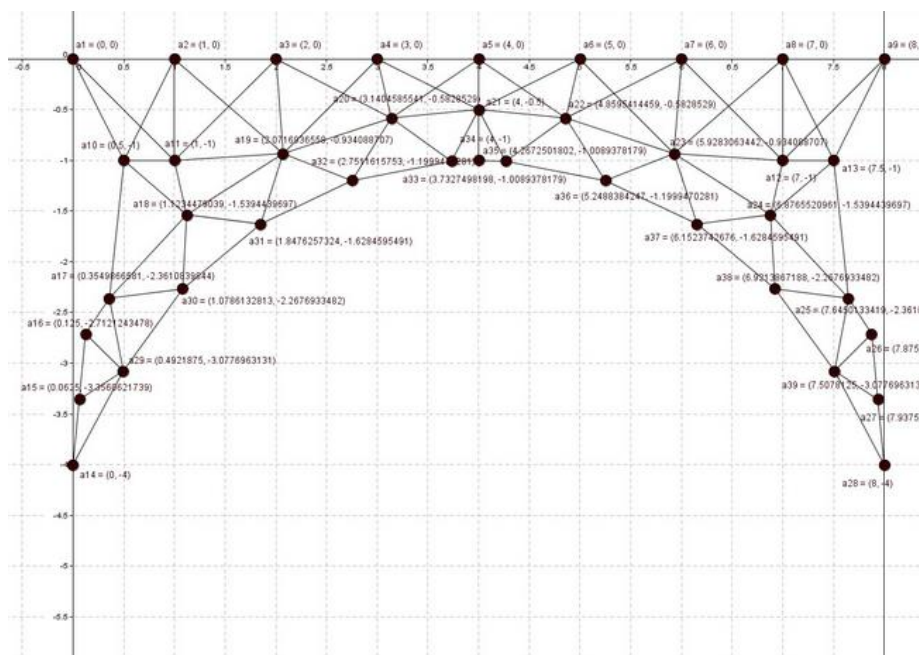


Figura 4 – Ponte em arco (ogiva) criada no GeoGebra

Esse formato foi escolhido pois nas pontes desse formato há uma melhor distribuição das trações, o que a proporciona aguentar pesos bem maiores. Observe que ainda temos quatro pontos de apoio e uma quantia total de 94 barras.

Com isso, obtivemos resultados condizentes com o necessário, porém em 2 barras (as que ligam o apoio mais abaixo ao primeiro vértice acima), com o carregamento nos pontos 2,3,4 e 5, como na figura, essa tensão ficou muito próxima do limite, então para otimizarmos a ponte e melhorarmos a distribuição de tensão, adicionamos mais dois pontos fixos.

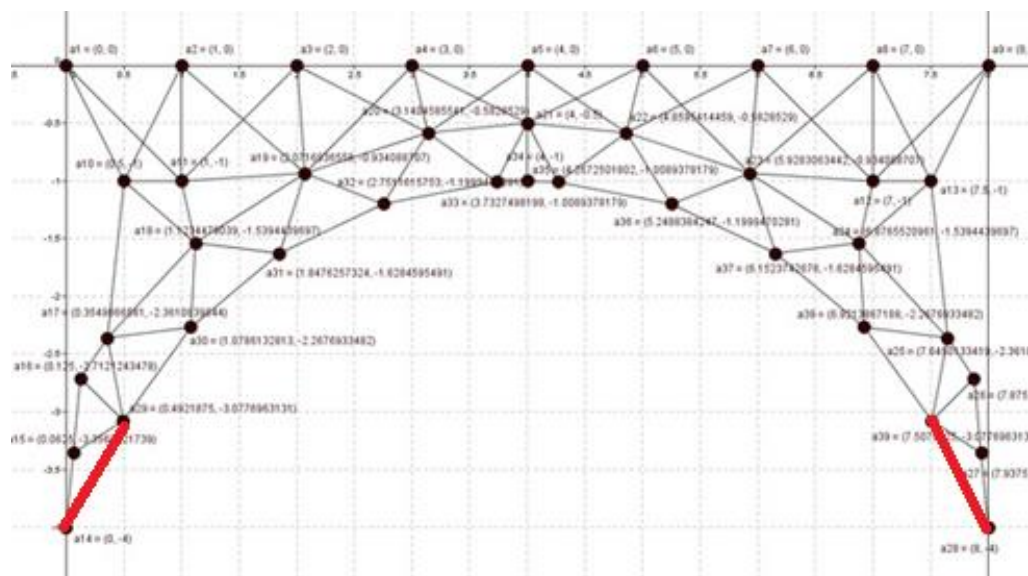


Figura 5 – Em vermelho, as barras que tiveram problemas.

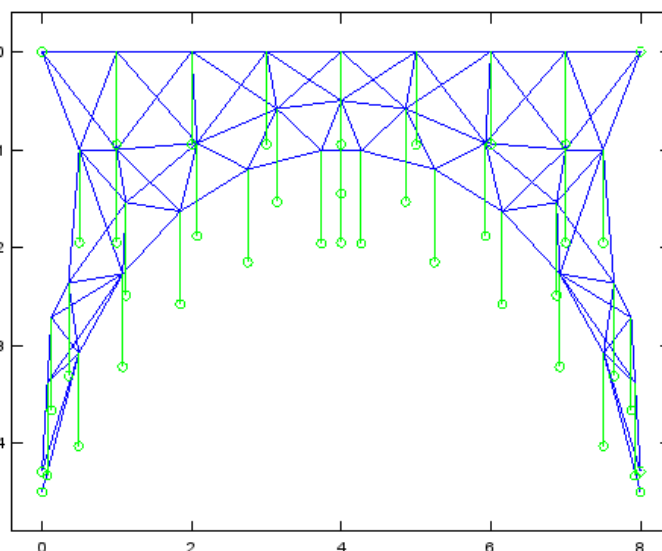


Figura 6 – Nova configuração da ponte, com mais dois pontos fixos (embaixo)

Com essa mudança, temos agora uma ponte com seis pontos fixos e 102 barras, e obtivemos uma melhora significativa na tensão máxima encontrada, que foi de 3,69. Dessa maneira, temos um coeficiente de segurança muito maior, já que a diferença entre a tensão máxima que uma barra pode suportar e a máxima que encontramos é de 1,1. Esse fato dá uma maior estabilidade à ponte, já que uma ponte “no limite” de tensão é extremamente instável.

O cálculo das reações é simples. O vetor intforces recebe o valor das forças em x e y em cada nó, assim, para o cálculo da reação basta pegarmos os valores nos nós 1, 9, 14, 28, 40 e 41 (como na figura) tanto nos eixos x e y, e multiplicar por -1.

Por exemplo, com um carregamento nos pontos 2, 3, 4 e 5 (figura). A tensão máxima encontrada foi de 3.69 (nas mesmas barras da figura 5). As reações encontradas foram:

Nó	Reação em x	Reação em y
1	-1.9779	0.0536
9	1.1004	-1.2504
14	1.3505	3.3844
28	-0.8381	1.8330
40	0.9112	2.7158
41	-0.5461	1.6135

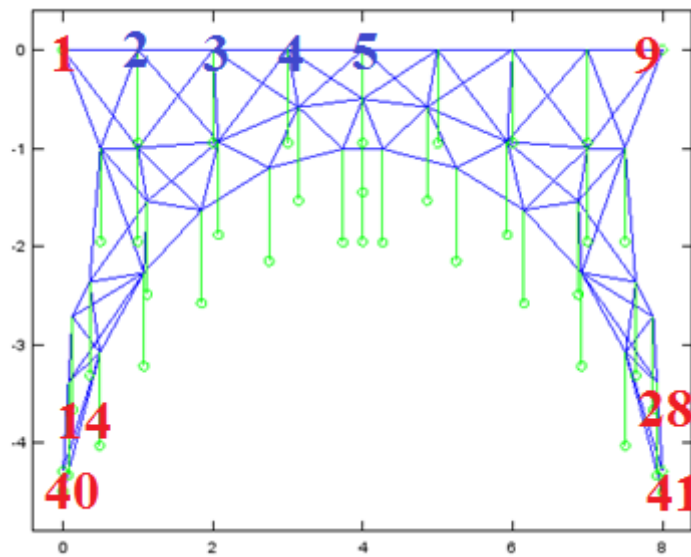


Figura 7 – Apoios (vermelho) e carregamentos (azul)