



Relatório de Projeto

Departamento de Matemática Aplicada e Estatística

SME301: Métodos Numéricos para Engenharia I

PONTE SOB CARREGAMENTO ESPECÍFICO

Nomes:

N.º USP:

Allisson Santana Spina

8004631

Andres Kim

8070553

Bruno de Souza Brito

8070452

Felipe Ferrari

8004537

Renan Victor Donalonso Siqueira

8085386

São Carlos,

Maio de 2013

1º Semestre

1. INTRODUÇÃO

Atravessar rios, vales, entre outras barreiras naturais sempre foi necessário, e nem sempre possível por meio de transportes não terrestres (barcos, por exemplo). Tendo isso em vista, uma das maiores invenções humanas na área de construções foi a da ponte. Utilizando de um elemento estrutural chamado treliça (formado por barras e em disposição triangular) elas devem suportar grande peso (peso que será distribuído por toda a estrutura treliçada) não podendo se deformar em demasia.

Tendo em vista o tipo de estrutura, e sabendo-se previamente as forças que são aplicadas na ponte, pode-se calcular as forças que são distribuídas nas barras (que podem ser de compressão, se as forças comprimirem a barra, ou de tração, se as forças tenderem a esticar a barra). Tendo em vista o altíssimo número de barras, existirá um gigantesco número de equações de equilíbrio, dando num sistema quase impossível de se resolver a mão. É pra isso que se utilizam softwares matemáticos e métodos numéricos (que auxiliam no cálculo das raízes do sistema). O método de Newton Raphson é, dos métodos conhecidos, o mais indicado para ser usado no cálculo de raízes de equações, por ter uma alta taxa de convergência e por ser o único, dentre os conhecidos, em que se é possível trabalhar com sistemas de equações. Este método usa o conceito derivada para aumentar essa taxa de convergência. Para auxiliar nos cálculos usados neste método é recomendável usar softwares, como Octave, por exemplo. Entretanto, podem ocorrer alguns casos em que o método não consegue encontrar a raiz do sistema, chegando até a divergir, mas isso tudo depende da condição inicial inserida e do tipo de função que se está trabalhando.

2. OBJETIVOS

Tendo em vista uma ponte de 8 u.c (unidade de comprimento), que contém 8 barras de 1 u.c na sua “estrada” construir uma ponte que suporte, além do seu peso, até 4 forças de 2 u.f. (unidade de força), cada, onde cada força simula um caminhão sobre essa ponte. As forças são aplicadas sempre nos nós (ou seja, extremidades das barras da estrada), e duas forças não podem ser aplicadas no mesmo nó (dois caminhões não podem estar no mesmo lugar na estrada). Deve-se construir toda a estrutura restante da ponte com barras de até 1,5 u.c. e com uma constante elástica de 1000 unidade de força/unidade de comprimento, e cada barra construída não pode ter uma tensão maior que 5 u.f. (unidade de força) (em módulo, pois não é permitida uma tensão menor que -5 u.f., configurando uma barra sob compressão) utilizando o número mínimo de barras para tal. Utilizar o software Octave, usando alguns programas(códigos) para cálculo das tensões e para plotagem da ponte, com configuração sem

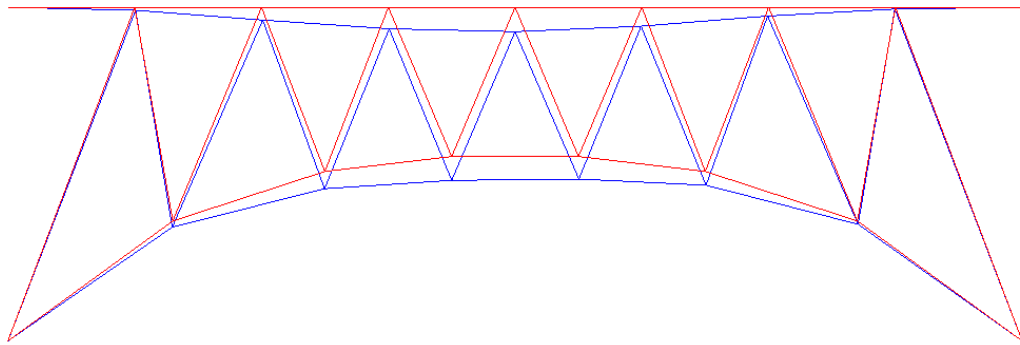
forças e após aplicação das forças, (ambos disponibilizados pelo professor). A ponte deve ser construída usando-se os arquivos nos.txt e barras.txt.

3. DESENVOLVIMENTO

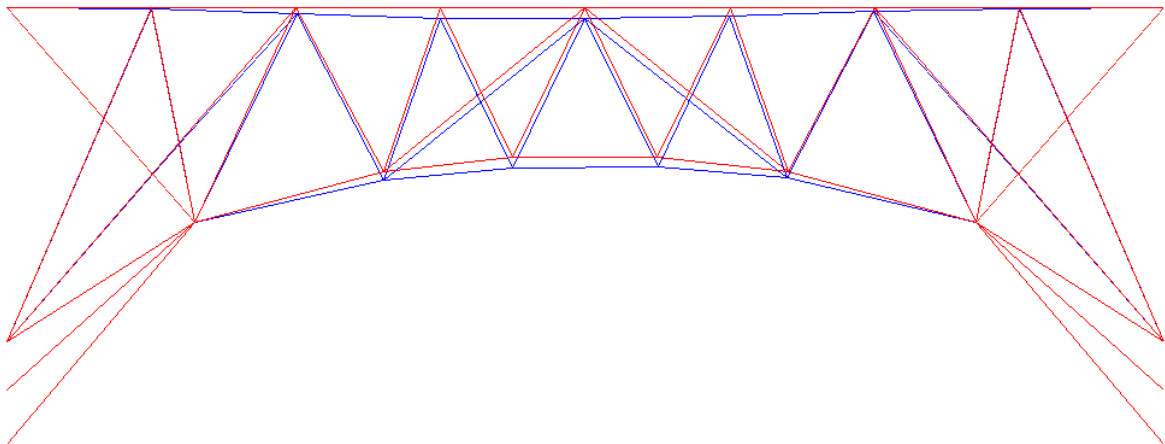
O princípio básico do projeto foi o de distribuir o carregamento, no caso vertical, pela estrutura da ponte até os seus apoios sem que fossem ultrapassadas as tensões máximas de cada treliça (barra). Pensou-se então numa ponte com estrutura similar a seguinte:



No entanto, como se deve considerar somente carregamentos verticais, notou-se logo que a ponte em questão não conseguiria distribuir o carregamento até os apoios (pela sua estrutura reta, perpendicular ao carregamento). Então resolveu-se adotar uma estratégia diferente, escolhendo uma estrutura de ponte capaz de fazer de maneira eficaz essa distribuição. Com um pouco de pesquisa sobre projeto de pontes, descobriu-se a ideia do arco catenário que funciona distribuindo os carregamentos aplicados sobre ele de maneira uniforme ao longo da sua estrutura, fazendo com que estes alcancem os apoios e assim a estrutura suporte a carga aplicada. E confirmando essa ideia, viram-se várias imagens, durante a pesquisa, de pontes com esse formato de arco. Baseado nisso, iniciou-se o projeto com a seguinte ponte:

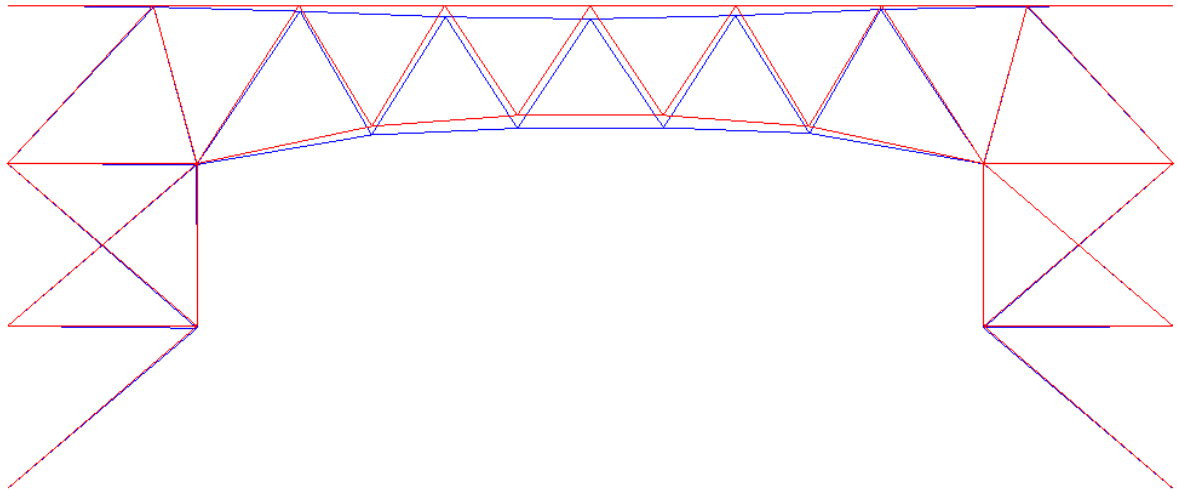


Essa ponte, com certo carregamento já ultrapassava as tensões máximas permitidas, apresentando tensões entre 9 e 6 u.f. (tanto de tração quanto de compressão). No intuito de resolver esses problemas foram adicionadas algumas barras para aliviar as que estavam sobrecarregadas, como mostra a figura a seguir:



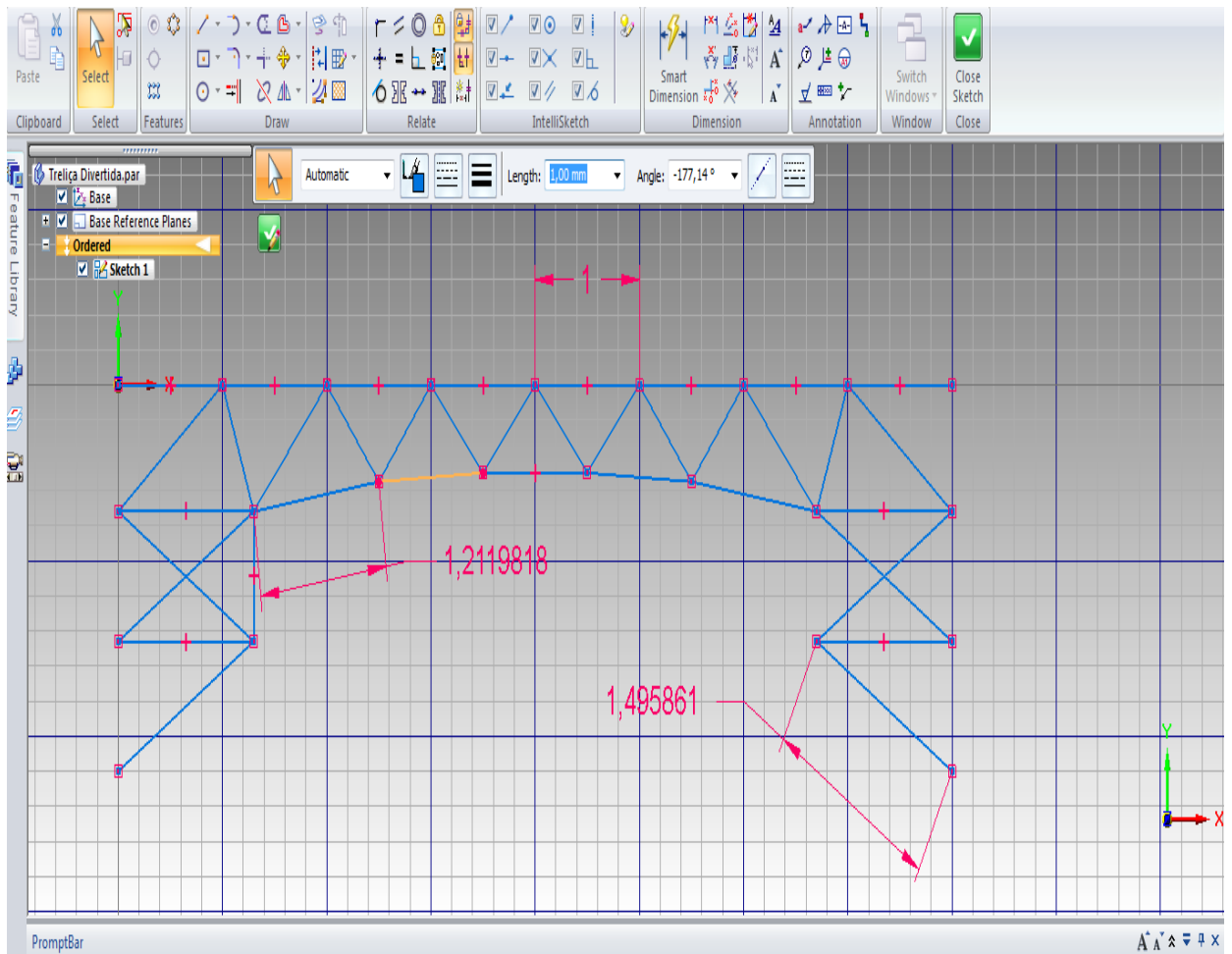
Também tentou-se conectar barras a novos nós nas paredes para que o carregamento fosse melhor distribuído para os apoios. Após várias alterações e simulações percebeu-se que para a resolução do problema seria necessária a adição de muitas barras, o que fugiria do propósito do problema.

Tendo em vista isso, decidiu-se abandonar o projeto inicial e partir para o desenvolvimento de outros. Um dos projetos pensados foi o seguinte:

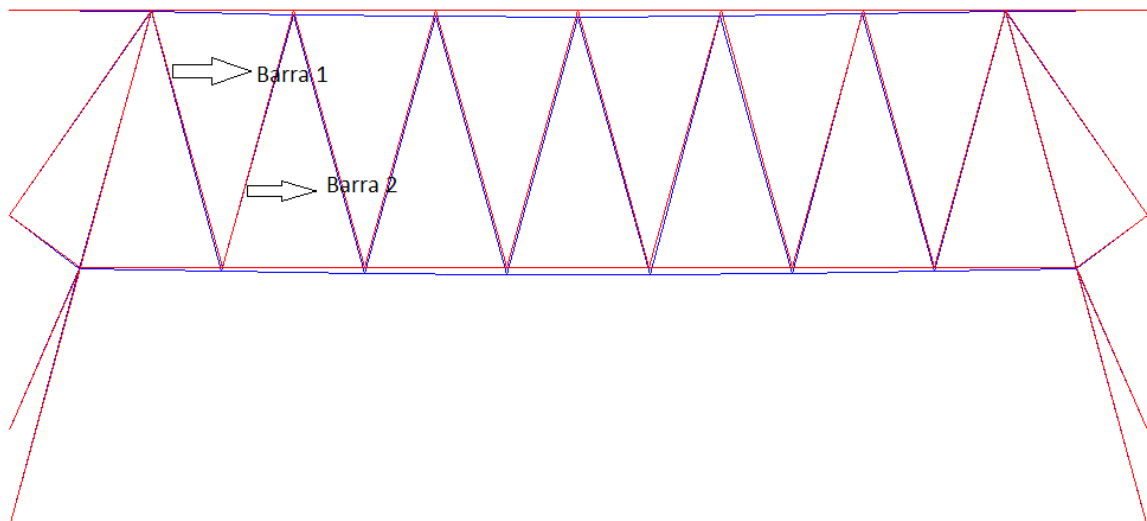


Uma ponte que foi construída com base no conceito de mesclar o conceito do arco catenário com um reforço nas suas extremidades, um problema frequente nos projetos anteriores. Entretanto, a ponte apresentava umas barras que excediam a tensão admissível para certas simulações, atingindo tensões em torno de 6 unidades de tensão, sendo que 5 era a máxima admissível. Tentou-se resolver o problema acrescentando-se algumas barras e até apoios para aliviar as tensões das críticas, no entanto o problema não foi resolvido. Então foi cogitada uma solução do problema, mas essa envolveria a adição de muitas barras, o que mais uma vez fugiria do propósito do problema.

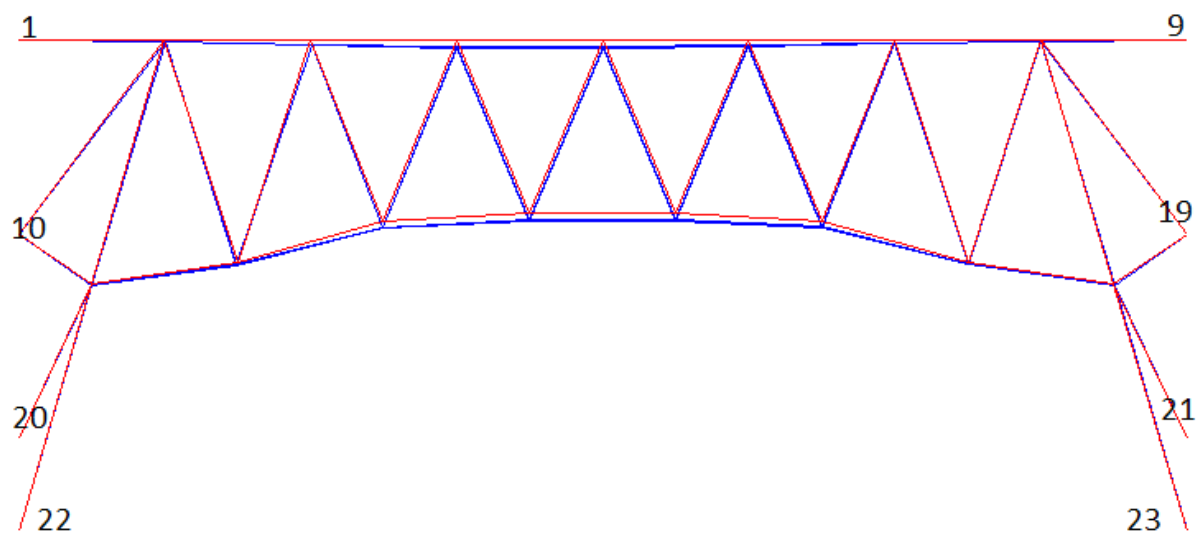
Cabe ressaltar que todas essas alterações citadas e as das pontes que ainda serão apresentadas foram em grande parte facilitadas pela utilização do software Solid Edge para o projeto das pontes, pois ele facilita a alteração do projeto da ponte com certa facilidade, além de nos fornecer com precisão o comprimento das barras tal como as coordenadas dos nós, conforme a figura a seguir, que representa o projeto da ponte anterior:



Prevenido esse problema (citado anteriormente) ou qualquer outro, estava sendo desenvolvido um projeto em paralelo. Após construção, plotagem e simulação verificou-se que o projeto em paralelo era viável, pois havia poucas barras e as tensões nos nós estavam baixas, com pouquíssimas acima de 5, e sempre menores que 5,5 unidade de força. Após algumas modificações nesse projeto obteve-se a seguinte ponte:



Esta ponte parecia, a primeira vista a solução para o problema, mas após cerca de 70 testes percebeu-se que para aplicações de força nos nós 3, 4, 5, e 6 (similarmente aos nós 4, 5, 6 e 7) aparecia uma tensão acima de 5 e uma outra muito próxima. A barra 1 (ilustrada na figura acima) tinha uma tensão de aproximadamente 5,016 u.f. e a barra 2 uma tensão de aproximadamente 4,98 u.f. (o que dificultava fazer alterações a fim de diminuir a tensão da barra 1). Após alguns outros testes, fazendo uma espécie de arco na ponte, por exemplo, finalmente obteve-se uma capaz de suportar todos os tipos de carregamentos possíveis. A figura a seguir mostra a ponte final com os seus apoios identificados com numeração conforme ordem no arquivo nos.txt:



A seguinte ponte contém 37 barras, um número razoável se comparado com os projetos anteriores. Para o carregamento mais crítico encontrado, aplicado aos nós 3,4,5 e 6, foram encontradas as seguintes tensões em suas barras (a ordem dos dados apresentados segue a ordem dos dados das barras presentes no arquivo barras.txt):

```

Less
tensoes =
  4.44746
  0.85162
 -1.99350
 -3.45662
 -2.83695
 -1.19497
  0.89567
  3.78928
 -2.96679
  4.26796
 -4.67243
  2.60914
 -2.79732
  0.54961
 -0.45639
 -1.83015
  1.87301
 -1.86742
  1.64787
 -3.74605
  3.46587
 -2.46793
 -2.75549
 -1.67127
 -2.58610
 -1.37025
 -3.66774
 -0.39065
  1.94081
  2.38729
  0.73670
 -0.79289
 -3.42908
 -3.52578
 -3.18879
 -1.60069
 -1.22996

lines 1-40/40 <END> -- <f>orward, <b>ack, <q>uit_

```

Também houve o cálculo das forças de reações nos apoios, declarando no código dos programas 'res.m' e 'leitura.m' a variável global 'intforces' e a chamando no Octave. Esta variável é um vetor de 2n posições, onde n é o numero de vértices. Se desejar encontrar a força em x do k-ésimo vértice deve-se procurar a posição (2k-1) do vetor, e em y, a posição 2k do vetor. Assim sendo, foram encontrados os seguintes resultados:

- Carregamento aplicado sobre os nós 3,4,5 e 6:

Apoio 1: $F_x=4,8830$; $F_y=-0,041992$;

Apoio 9: $F_x=-3,92849$; $F_y=0,026695$

Apoio 10: $F_x=-3,7852$; $F_y=0,29264$

Apoio 19: $F_x=3,2387$; $F_y=0,78512$

Apoio 20: $F_x=-0,61335$; $F_y=1,74070$

Apoio 21: $F_x=-0,45322$; $F_y=1,2904$

Apoio 22: $F_x=1,8433$; $F_y=3,2818$

Apoio 23: $F_x=1,5954$; $F_y=-2,8398$

- Carregamento aplicado sobre os nós 2,3,4 e 5:

Apoio 1: $F_x=4,8523$; $F_y=-0,046989$

Apoio 9: $F_x=2,4842$; $F_y=-0,011811$

Apoio 10: $F_x=-3,4960$; $F_y=-0,83372$

Apoio19: $F_x=2,1937$; $F_y=0,853$

Apoio 20: $F_x=-0,67509$; $F_y=-1,9189$

Apoio 21: $F_x=-0,24527$; $F_y=0,6997$

Apoio 22: $F_x=-1,8520$; $F_y=3,2896$

Apoio 23: $F_x=1,2160$; $F_y=-2,1605$

Como a ponte apresenta uma estrutura simétrica, pode-se considerar esse mesmo carregamento aplicado simetricamente ao outro lado da ponte. Os resultados obtidos serão os mesmos que os apresentados, apenas trocando-se os valores de um apoio pelo o do seu simétrico no outro lado, como por exemplo: caso o carregamento fosse aplicado sobre os nós 5,6,7 e 8 (simétrico ao acima descrito); os valores, tanto em x quanto em y, que o Apoio 23 teria são os que o Apoio 22 tem acima, e vice-versa.

Conhecido esses valores, pode-se então construir a ponte em questão, já sabendo qual esforço cada apoio deve suportar para que a estrutura suporte os diversos tipos de carregamento requeridos.

4. CONCLUSÃO

A construção de uma ponte exige um esforço considerável, uma vez que sem a ajuda de softwares de simulação e de métodos numéricos, que auxiliam nos cálculos necessários para tal seria praticamente impossível. Além de facilitar o trabalho, também permite que se analise o comportamento da ponte conforme o carregamento é aplicado, fazendo simulações.