

CONSTRUINDO UMA PONTE DE MACARRÃO

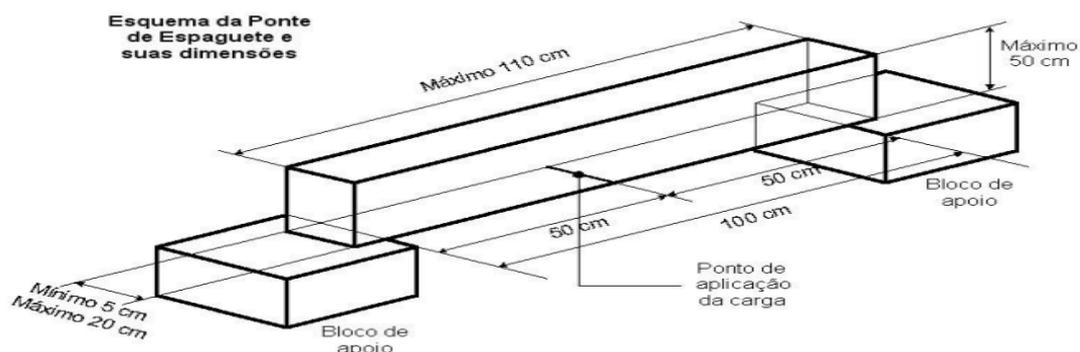
Resumo: O presente artigo aborda a construção de uma ponte de macarrão por estudantes de engenharias do ensino superior, cujo objetivo foi aprofundar os conhecimentos na disciplina de mecânica geral. Após o desenvolvimento do projeto estrutural e da determinação das forças de tração e compressão nas treliças, foram construídas barras com macarrão nº 8, cola epóxi e resina, utilizando-se de um cano PVC de meia polegada como molde e também de fita crepe e cola quente para acabamentos. Além disso, foi incorporado um vergalhão na base da ponte, entre as barras de apoio, que serviu para anexar os pesos para o teste. De acordo com os cálculos, a ponte pesaria 1024 gramas e suportaria 120 kg. Durante o teste, o peso da ponte foi de 1020 gramas e a carga máxima suportada foi 20 kg. Uma das barras neutras se apresentava fraturada antes mesmo do início do teste, ocorrendo rompimento em um dos nós. As barras caíram em boas partes intactas. Por análise posterior, conjecturou-se que a barra neutra ocasionou o rompimento, e não fosse esse problema a ponte suportaria maior carga. Apesar da discrepância, o resultado foi satisfatório.

Palavras-chave: Ponte de macarrão, triângulo equilátero, barra fraturada.

1 INTRODUÇÃO

A competição de construção de Ponte de Macarrão não é de hoje. Na Mecânica Geral, a criação de modelos que façam com que os discentes busquem por novos conhecimentos na disciplina torna-se necessária. Uma nova prática de ensino, segundo Júnior et al (2015, p.2) foi implementada no século XX, na década de 90 nas Instituições de Ensino Superior (IES) na construção de pontes de macarrão em Okanagan College, na Colúmbia Britânica. No Brasil, nos cursos de engenharia, o surgimento da construção e competição das pontes foi em 2004 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRG), de forma que diversas instituições de ensino do Brasil e do mundo utilizam-se desta competição como forma de motivar os alunos a empregar o conhecimento obtido em sala de aula na prática. Com base em experiências didáticas similares relatadas em várias instituições de ensino do exterior e numa iniciativa pioneira no Brasil em competições desta natureza, um evento foi proposto aos alunos do IFBA no semestre 2018/1, como um trabalho prático da Mecânica Geral I do curso de Engenharia Civil, consistindo na análise, projeto, construção e ensaio destrutivo de uma ponte treliçada de macarrão do tipo espaguete, conforme as especificações detalhadas no regulamento daquela competição.

Figura 1 – Esboço da ponte com as dimensões conforme o regulamento da competição



A palavra engenharia vem do latim ingenium, que significa gênio, talento, engenhoso, ou seja, é um profissional que, através de sua inteligência e de seu conhecimento, tem a missão de solucionar problemas humanos. Sendo assim, o discente envolvido ativamente na construção da ponte adquiriu habilidades e competências cognitivas que estimularam uma postura crítica sobre o próprio projeto, identificando as possíveis falhas e erros, de modo a redimensionar para melhoria contínua na montagem, acabamento e estética da ponte.

Várias instituições de ensino superior no Brasil organizam a competição de Pontes de Macarrão onde o principal objetivo da competição é não só colocar em prática os conhecimentos adquiridos no curso mas também incentivar a criatividade nos alunos, a fim de gerar inovações e melhorias nos projetos, sendo esse o objetivo da engenharia (SILVEIRA et. al 2011, p.1).

A competição de pontes tem a finalidade de realizar a análise estrutural, estudando desde a construção até o rompimento da ponte treliçada de macarrão tipo espaguete. De acordo com Medeiros et al (2016), o trabalho da ponte permite que os alunos no desenvolvimento de habilidades possam:

1. aplicar conhecimentos básicos de Mecânica dos Sólidos para resolver problema;
2. utilizar computadores para resolver problemas de Engenharia;
3. projetar sistemas estruturais simples;
4. comunicar e justificar seus projetos em forma oral e escrita;
5. trabalhar em grupo para executar seus projetos.

O objetivo do ensino superior é formar um cidadão crítico, ético e capaz de mobilizar e transformar a realidade e, é nesse contexto da instrução de um indivíduo construtor do seu próprio conhecimento que a competição de construção de ponte propõe que o discente tenha a devida consciência e responsabilidade com o processo de ensino-aprendizagem. De tal modo, esse projeto pode contribuir efetivamente para que os discentes tivessem oportunidades únicas de alcançarem resultados surpreendentes na disciplina específica, permitindo explorar a aprendizagem de uma forma interativa e lúdica no estímulo ao raciocínio lógico que propicia compreender melhor a realidade local de vivência, o que pode ajudar na valorização e interação do docente com o discente. Portanto, este artigo descreve aspectos da construção de uma Ponte de Espaguete, o que pode estimular a capacidade de pensamento crítico dos discentes, o que pode se tornar um ótimo meio para melhor aquisição de conhecimentos por parte do educando, deixando o ambiente acadêmico mais propício para a busca por ideias inovadoras nos estudos construtivos de pontes de macarrão.

2. TRABALHO PROPOSTO

2.1 Planejamento estrutural

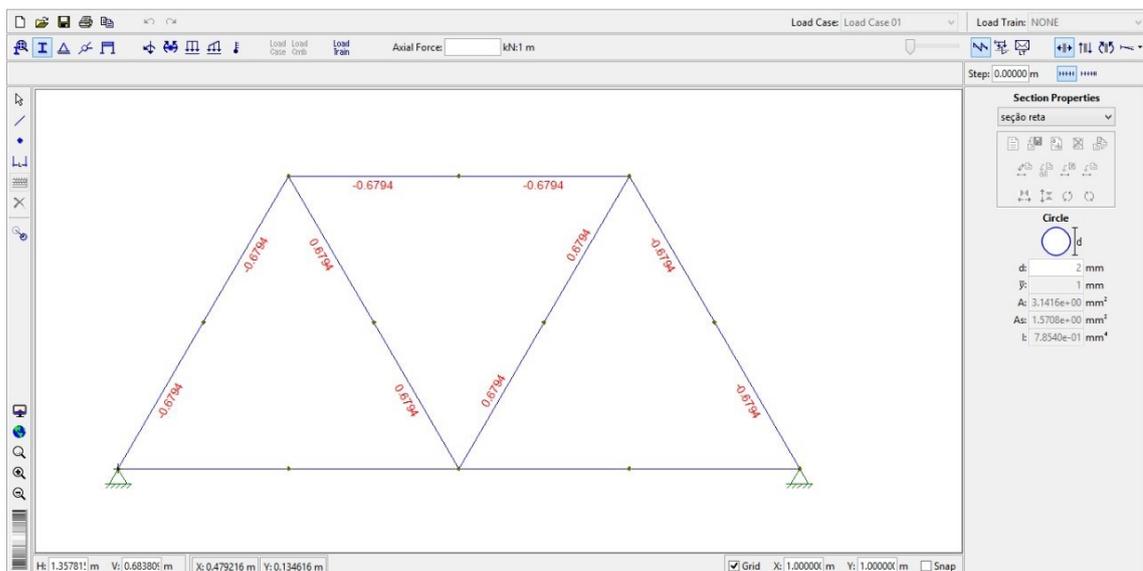
Com o objetivo de construir uma ponte de macarrão que apresentasse resistência suficiente para suportar grandes cargas sem romper, foi utilizado o formato de treliça, em que os conceitos físicos de força e equilíbrio foram aplicados para manter a estrutura estável. Utilizou-se um formato simples de treliça, em forma geométrica de triângulo equilátero, de modo que a distribuição de cargas se tornasse homogênea ao longo de todo o sistema.

Dessa forma, a treliça foi projetada no software de análise estrutural Ftool. Para se obter maior precisão, é necessário conhecer as propriedades do macarrão, de modo que os seguintes dados foram levados em consideração:

- Diâmetro médio: 1,9mm;
- Peso médio de cada fio inteiro: 1g;
- Módulo de Elasticidade Longitudinal: 36000 kgf/cm²;
- Carga média de ruptura por tração: 4,267kgf.

Sendo inseridas as características do macarrão utilizado, foi inserido o formato bidimensional da ponte no software, e também a carga a ser suportada. Visando-se construir uma ponte resistente, o planejamento foi feito visando suportar uma carga relativamente alta, de 120kgf.

Figura 2 – Modelo escolhido para o projeto da ponte com os esforços aplicados.



Assim, obteve-se a força de reação suportada em cada elemento da treliça, em kN. Por conta da simetria apresentada no planejamento da estrutura, todos os elementos de reação não-nula exercem a mesma força, em módulo. Por convenção, força de reação positiva significa força de tração, ao passo que elementos em que a força de reação é negativa exercem força de compressão. Desse modo, o número de fios em cada barra foi calculado levando-se em consideração a respectiva força de reação.

2.2 Número de fios

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, os fios de macarrão apresentam maior resistência à tração, de modo que as barras de tração foram produzidas com menos fios. Assim, sendo que cada fio suporta 4,267kgf de macarrão, pode-se obter a equação:

$$N^o = \frac{P}{4,267} \quad (1)$$

Na equação (1), P é o esforço de tração a ser suportado na barra em kgf. Assim, sendo os esforços de 0,6794kN = 69,33kgf, obteve-se que as barras de tração deviam ser compostas por 17 fios.

Como o macarrão se deforma mais facilmente ao sofrer compressão, apresentando flambagem, para as barras de compressão foi necessário um número maior de fios. Para todas as barras de esforços não-nulos, utilizou-se a estrutura tubular, de modo a aumentar a seção

reta da barra e assim reduzir sua fragilidade, o que foi especialmente necessário para as barras de compressão. De acordo com pesquisas experimentais realizadas na UFRGS, o número de fios pode ser dado pela equação:

$$N^{\circ} = \sqrt{\frac{4Nl^2}{\pi^3 E r^4}} \quad (2)$$

Na equação (2), N é o esforço a ser suportado na barra, l é seu comprimento, E é o módulo de elasticidade e r é o raio médio do fio. Assim, aplicando-se os dados conhecidos, obteve-se o número mínimo de 49 fios, de modo que se utilizou 50 fios, para se aumentar a estabilidade.

2.3 Construção das barras

Para as barras que apresentam esforço nulo, foram utilizados apenas 10 fios, para manter a estrutura da ponte. A construção das barras foi iniciada aparando-se todos os fios de dois pacotes de macarrão, de modo a se obter fios de mesmo comprimento, com 25cm cada. A estrutura tubular foi obtida posicionando-se os fios de macarrão ao redor de tubos, utilizando-se fita adesiva para fixação e cola epóxi líquida para a colagem. Foram utilizados canos PVC de $\frac{1}{2}$ polegada para as barras de compressão, e tubos de caneta BIC para as barras de tração. As barras de esforços nulos foram construídas unindo-se os fios e fixando-se com fita adesiva, para então se utilizar a cola epóxi.

Figura 3 – Barras de compressão.



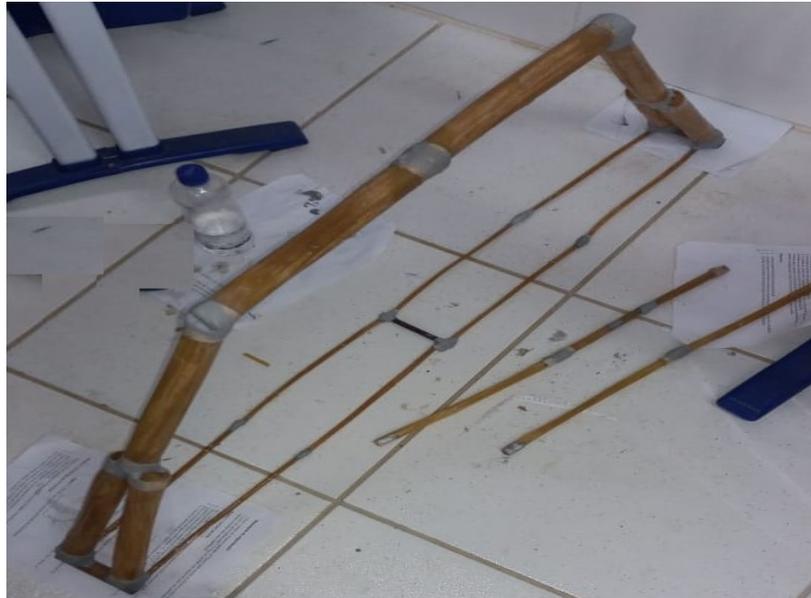
Assim, após a construção de todas as barras ter sido concluída, utilizou-se cola tipo resina para aumentar a resistência, endurecendo-se as barras.

Em seguida, realizou-se o início da união das barras, em que foi utilizada cola epóxi sólida para formar as peças separadas, que, posteriormente, seriam unidas para se formar a estrutura da ponte. O planejamento foi realizado para que a ponte possuísse dois lados, mas com apenas uma componente superior. Assim, como as componentes externas da lateral da ponte são de barras de compressão, se colou as barras mais grossas em formato de bifurcação, de modo que uma barra é unida à outras duas, como pode-se visualizar na Figura 04.

Com as barras restantes, foram formados pares, uma vez que cada barra possui 25cm de comprimento, e o planejamento foi realizado para que os lados dos triângulos equiláteros possuíssem 50cm de comprimento, e que, assim, a ponte superasse o vão de um metro contido no regulamento da competição.

Após a confecção das barras que iriam compor a estrutura da ponte, realizou-se a montagem destas, unindo-as com cola epóxi, primeiro a barra superior com as barras laterais, barras estas responsáveis pela compressão, ao mesmo tempo que as barras de tração inferior eram coladas para serem unidas logo em seguida, como observado na Figura 05.

Figura 4 – Barras de compressão e neutras coladas.



Em seguida, colaram-se as barras de tração com as barras de compressão utilizando cola epóxi, finalizando-se a montagem da ponte como observado na Figura 07.

Figura 5 – Ponte montada.



2.4 Pesagem do material

Visto que faz parte do regulamento da competição que o peso máximo da ponte é de 1,150kg, os materiais foram utilizados de forma controlada. Na Tabela 01, encontram-se os pesos encontrados:

Tabela 1 – Peso do material utilizado

Material	Peso médio (g)	Peso total (g)
Barra de compressão	62	496
Barra de tração	23,25	186
Barra de esforço nulo	11,5	92
Barra de ferro	50	50
Cola epóxi sólida	200	200
Total		1024

Na Tabela 01, pode-se observar que as barras que apresentam maior peso são as barras de compressão, visto que necessitam de mais fios de macarrão. No total, o peso da ponte não ultrapassou o limite estabelecido.

Figura 6 – Pesagem das barras neutras inferiores com a barra de ferro.



2.5 Custos envolvidos

Na Tabela 2, pode-se observar o custo de todo o material utilizado durante a construção da ponte.

Tabela 2 – Custos dos materiais utilizados

Material	Custo
Macarrão	R\$ 5,30
Canos PVC e vergalhão	R\$ 3,00
Tubo de cola quente	R\$ 1,50
Cola tipo resina	R\$ 25,50
Cola epóxi sólida	R\$ 13,70
Fita crepe	R\$ 2,25
Total	R\$ 51,25

Os maiores gastos realizados na construção da ponte foram com a cola, seja ela líquida ou sólida, representando 76,48% do valor total.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais que foram utilizados para montagem da ponte de macarrão foram:



Cola Epoxi tipo resina



Cola Epoxi tipo massa



Fita Crepe



Cola Quente em pistola



Tubos PVC 1/2 polegada



Tubos de caneta BIC



Espaguete Dona Beta nº 8



Vergalhão

A metodologia usada no desenvolvimento deste artigo foi dividida nas seguintes etapas:

1. Pesquisa de preços e aquisição dos materiais necessários para construção da ponte de macarrão;
2. Levantamento dos requisitos e funcionalidades que cada dispositivo deveria atender;
3. Modelagem e dimensionamento da ponte escolhida para o projeto da ponte;
4. Levantamento e mapeamento das causas do rompimento da ponte;

A pesquisa inicial, de base quantitativa e exploratória, foi realizada em quatro pontos comerciais em Vitória da Conquista/BA para tomar conhecimento da possibilidade de existência de materiais para confecção da ponte de macarrão. Assim, todos os materiais adquiridos estão de acordo com o regulamento da competição.

A modelagem e o dimensionamento das cargas da ponte foram feitas no software Ftool 4.00 (Two-dimensional Frame Analysis Tool), criado no Centro Técnico Científico da PUC-Rio (CTC/PUC-Rio), programa gráfico-iterativo de Engenharia Civil, o qual foi o software ideal para a criação de um modelo de ponte com cargas distribuídas para suportar o peso do projeto e para uma maior visualização de resultados.

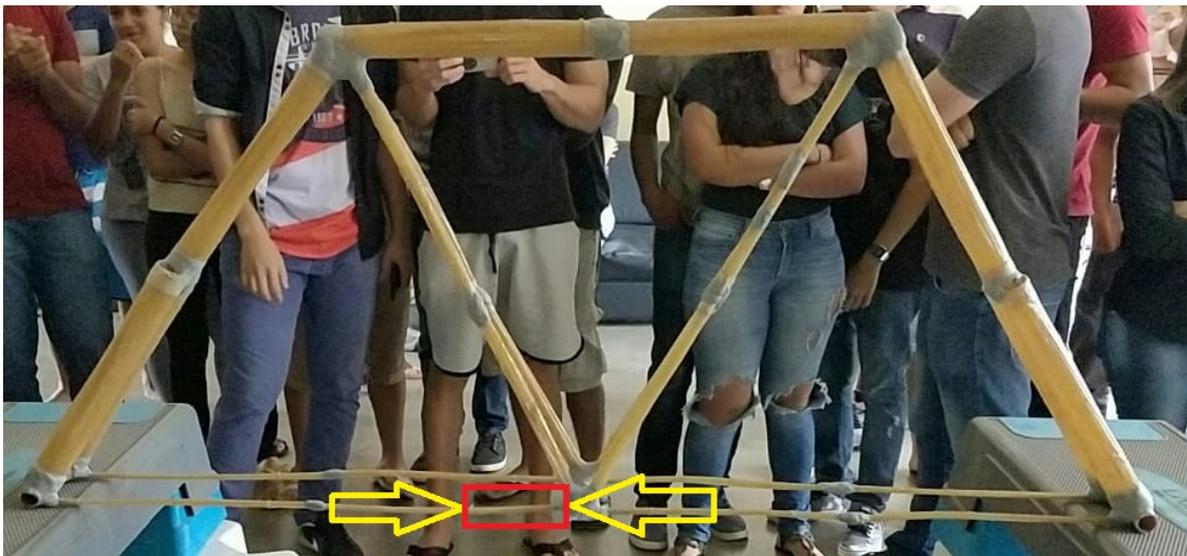
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processo da confecção da ponte chegou o dia do campeonato, com um peso total de 1020 g e dimensões apropriadas segundo o regulamento foi colocado o suporte inicial na ponte com um peso de 2000 g. Depois desses testes, a ponte estava habilitada para participar da competição. Inicialmente por meio do software de análise estrutural Ftool, foi calculado

que a ponte suportaria 120.000 g, no entanto devido a erros durante a sua construção e acidentes que ocorreram, era esperado um resultado inferior a esse.

Depois de todos os testes iniciais foram colocados pesos até que se atingiu 20000 g. A ponte não apresentava nenhum abalo estrutural, nas suas dimensões, porém quando foi acrescentado um novo peso de 2.000g, uma das treliças neutras (não sofria força de tração ou de compressão) se despreendeu da barra de aço, que era utilizada para colocar o suporte com os pesos. Em questões de segundos a ponte se desestruturou e logo em seguida veio abaixo.

Figura 7 – Mapeamento da parte da ponte que se despreendeu.



A treliça feita de macarrão que se despreendeu da barra de aço não era tracionada ou comprimida, no entanto tinha um papel fundamental na estruturação e suporte da ponte, quando ela se desprende as forças que estão atuando na ponte mudam temporariamente de sentido e direção fazendo com que uma parte da ponte suporte mais carga que a outro. Assim, a distribuição de forças na ponte não fica correspondente, resultando no abalo e posteriormente destruição da ponte por completo.

Por um erro de colagem adequada ou outro acidente a treliça se soltou da barra de aço central da ponte. Supõe-se que a ponte seria capaz de suportar ainda mais peso, superior aos 20000 g suportados, uma vez que a sua distribuição de forças estaria mais igual em toda a ponte o que daria mais estabilidade para suportar cargas ainda maiores.

No final da competição ficamos no segundo lugar, perdendo apenas para um grupo, porém todo o procedimento de construção da ponte, o entendimento de estruturação e distribuição das treliças além do trabalho em equipe foi muito satisfatório para o grupo. O resultado final não foi diferente do que esperávamos, o que ratifica todo o processo de construção e confecção da ponte. A equipe está satisfeita com todos os processos de construção e do desempenho na competição.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência da falha em relação à expectativa do projeto inicial e do produto final foi esclarecedora. Um erro que poderia ser considerado pequeno reduziu a capacidade de carga da ponte a um décimo do que era esperado, o que diz muito sobre projetos de maior escala.

Mesmo que em todas as etapas haja um desempenho bom na construção, se houver algum erro, por menor que seja, a estrutura cede. O objetivo principal do trabalho foi fornecer experiência prática da disciplina de mecânica para a engenharia civil, e ele foi alcançado.

Desse modo, o resultado foi promissor para adquirir experiências e habilidades sinérgicas educacionais para melhor conhecimento das cargas atuantes em uma estrutura, o que o projeto foi um mecanismo essencial a fim de que a instituição pudesse compreender como a construção da ponte de macarrão pode proporcionar um encanto e a inovação no sistema de ensino universitário, percebendo os erros como estímulo para alcançar melhores resultados da ideia construtiva.

6. REFERÊNCIAS

RIBBELER, R. C.. **Estática**: Mecânica para engenharia. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 544 p. Tradução de: Everi Antonio Carrara.

LAGEMANN, C.R, et.al. **Ponte de espaguete**. Disponível em: <https://www.univates.br/media/extensao/dit/desafio_de_inovacao-ponte_de_espaguete.pdf>. Acesso em: 21 de Janeiro de 2019.

MORSCH, Inácio, et. Al. **Roteiro para cálculo** : ponte de espaguete. Disponível em: <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/papo_roteiro.html>. Acesso em 22/01/2019.

LUIS ALBERTO SEGOVIA GONZÁLEZ (Porto Alegre). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Competição de Pontes de Espaguete**. Disponível em: <<http://www.cpgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/>>. Acesso em: 30 maio 2016.

BEER, Ferdinand P. et al. **Estática e Mecânica dos Materiais**. 5. ed. São Paulo: MacGraw - Hill, 2013. 784 p.

BUILDING A MACARROW BRIDGE

Abstract: *This article deals with the construction of a noodle bridge by students of higher education engineering, whose objective was to deepen the knowledge in the discipline of general mechanics. After the development of the structural design and the determination of traction and compression forces in the trusses, bars with no. 8 noodles, epoxy and resin were built using a half-inch PVC pipe as mold and also crepe and glue tape hot for finishes. In addition, a rebar was incorporated in the base of the bridge, between the bars of support, that served to attach the weights for the test. According to the calculations, the bridge would weigh 1024 grams and support 120 kg. During the test, the weight of the bridge was 1020 grams and the maximum load supported was 20 kg. One of the neutral bars was fractured even before the test started, with rupture occurring in one of the nodes. The bars fell in good parts intact. By subsequent analysis, it was conjectured that the neutral bar caused the rupture, and if it were not this problem the bridge would bear a greater load. Despite the discrepancy, the result was satisfactory.*

Key-words: *Bridge of pasta, equilateral triangle, fractured bar.*