

DESAFIO DA PONTE DE MACARRÃO – EXPERIÊNCIA DO IFCE EM SE TRATANDO DO APRENDIZADO DE CONCEITOS DE COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E CONSTRUTIBILIDADE

Davi Valente Santos – davivs@gmail.com
Faculdade Ari de Sá
Av. Heráclito Graça, 826 - Centro
60140-060 – Fortaleza – Ceará

Gerson Melo de Almeida – gerson.almeida@ifce.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção
Civil
Av. 13 de Maio, 2081 - Benfica
60040-531 – Fortaleza – Ceará

George Émerson Pereira Farias – geempfa@hotmail.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção
Civil
Av. 13 de Maio, 2081 - Benfica
60040-531 – Fortaleza – Ceará

Resumo: *O ensino em Engenharia exige interações específicas entre diferentes disciplinas, de forma que, o aluno tenha condições de tomar decisões técnicas assertivas. Também é importante para o futuro engenheiro civil saber como trabalhar com pessoas, ser membro de equipes ou um líder. Nesse contexto se insere o desafio da ponte de macarrão. Esse artigo tem como objetivo apresentar a experiência da inserção do desafio da ponte de macarrão como atividade para os alunos de graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), discutindo todas as análises realizadas durante o processo de confecção das pontes e os resultados obtidos nas disputas. Observou-se tantos aspectos estruturais como a construtibilidade dos elementos estruturais, além do desenvolvimento de trabalho em equipe, liderança e planejamento. Os melhores resultados foram obtidos na ponte trapezoidal, mesmo que a forma em arco seja, teoricamente, mais eficiente estruturalmente. Além disso, a carga de ruptura ficou 47% e 69,5% menores do que a carga prevista para as pontes trapezoidais e em forma de arco, respectivamente. Esses fatos ilustraram a importância da eficiência construtiva para o desempenho estrutural.*

Palavras-chave: *Ponte de macarrão. Engenharia. Ensino. Estrutura. Construtibilidade.*

1 INTRODUÇÃO

Vários estudos têm apontado que o ensino das engenharias no século XXI é praticamente o mesmo que se oferecia desde meados do século anterior (WULF; FISHER, 2002; MILLS; TREAGUST, 2003; RUGARCIA et al., 2011). Isso, a despeito do fato de que o ensino, em geral, deve ser construído para atender as necessidades e exigências da sociedade e que esta mudou consideravelmente desde 1950 (VELHO; COSTA; GOULART, 2019).

O ensino em Engenharia exige interações específicas entre diferentes disciplinas, de forma que, o aluno tenha condições de tomar decisões técnicas assertivas. Também é

importante para o futuro engenheiro civil saber como trabalhar com pessoas, ser membro de equipes ou um líder. (CAMPIAN; POPA; CHIRA, 2015). Nesse contexto se insere o desafio da ponte de macarrão.

A da ponte de macarrão é um desafio famoso de projeto e construção e competições dessa natureza estão sendo organizadas em todo o mundo por muitas instituições diferentes desde que a Okanagan College realizou originalmente em 1984 (SELVI *et al.*, 2019). Os alunos são estimulados a construir uma ponte usando apenas um espaguete específico dado e cola como o material. O objetivo era construir uma ponte que carregasse a carga mais pesada enquanto ainda atendesse às especificações declaradas. O peso máximo permitido e as dimensões (como a altura máxima, a largura mínima do convés, o tamanho máximo dos espaços vazios no tabuleiro da ponte, etc.) da ponte são pré-definidos. Além disso, a ponte deve ser independente e deve abranger duas superfícies de nível separadas por um metro de distância.

Com base nesse desafio, têm-se a expectativa do desenvolvimento de diversas competências que vão desde assuntos inerentes à parte técnica da engenharia, tais como conhecimentos de esforços internos, carregamento, comportamento estrutural dos materiais constitutivos e da construtibilidade e sua fundamental importância no desempenho a estrutura em questão. Nesse sentido, destacam-se diversos trabalhos que ilustram iniciativas brasileiras no desafio da ponte de macarrão como ferramenta de aprendizagem em engenharia (BUFFONI; FAÍSCA, 2006; VALDIERO; BORTOLAIA; RAISA, 2011; GONÇALVES; FREIRE; LUCENA, 2016;).

Portanto o objetivo desse artigo é apresentar a experiência da inserção do desafio da ponte de macarrão como atividade para os alunos de graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), discutindo todas as análises realizadas durante o processo de confecção das pontes e os resultados obtidos nas disputas.

Destaca-se que nessa experiência, normalmente, participam, por semestre, em torno de 5 a 6 alunos por equipe. Se formam geralmente, em média, 5 equipes, sendo essas orientadas por professores da instituição de ensino. Essa atividade envolve uma carga horária mínima de 4 horas por semana, incluindo todas as etapas, desde concepção de projeto, modelagem e construção da ponte. Além disso, os alunos que participam, precisam ter conhecimentos mínimos de mecânica, restringindo-se, portanto, aos alunos que estão no quarto semestre.

2 A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

A formação dos engenheiros acompanha a tendência de formação técnica padronizada e que obedeçam às cartilhas gerenciais. Geralmente não há a preocupação em despertar nos engenheiros o senso crítico necessário para problematizar as situações complexas da realidade em que deverão atuar. Nos currículos, existe pouco espaço para proporcionar oportunidades de confronto com as implicações sociais dos problemas de engenharia. Os alunos adquirem apenas as competências necessárias para apresentar soluções técnicas e para se adequar às empresas que os contratam, sem desenvolver a capacidade de repensar essas instituições. (DWEK; COUTINHO; MATHEUS, 2011).

A formação crítica do engenheiro só atinge seu potencial quando associada a uma prática contextualizada. Por essa razão, atividades de projeto em disciplinas, grupos de extensão ou programas de iniciação científica, quando voltados para situações reais e para uma apreensão multifacetada da profissão da engenharia, complementam a formação do engenheiro rumo a uma prática crítica. (DWEK; COUTINHO; MATHEUS, 2011).

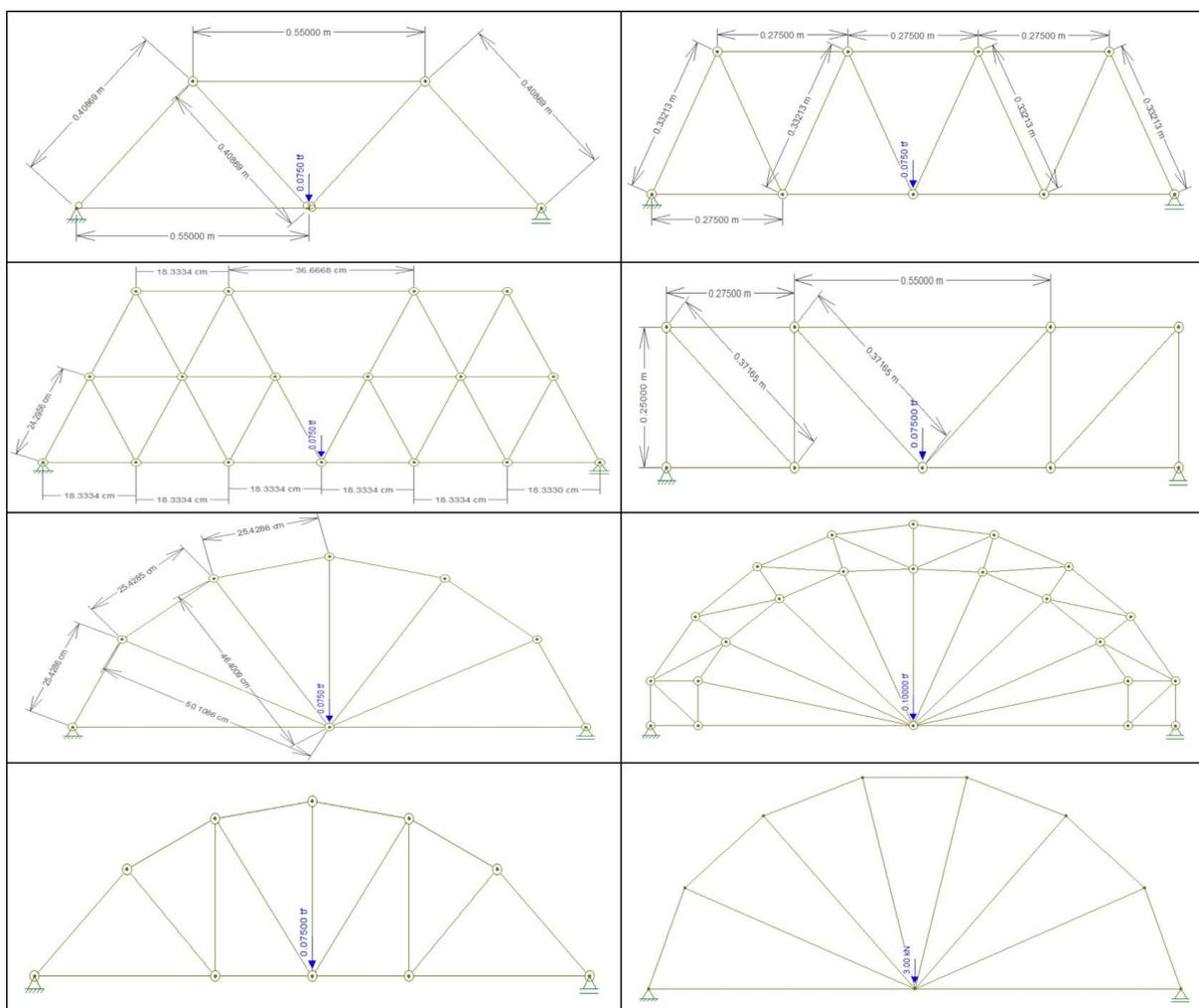
Resultados de estudos mostram os seguintes gargalos na formação dos engenheiros: as diferenças na formação das universidades públicas e privadas; o baixo volume de atividades

práticas durante o curso e engessamento do currículo; os desafios da interdisciplinaridade; a formação dos professores na área educacional; o grau de internacionalização das universidades e a ética e responsabilidade social do conhecimento produzido nas engenharias.

3 MODELAGEM ESTRUTURAL

Os alunos buscaram os vários modelos de pontes possíveis. Com base nisso foi realizada a análise de esforços internos, por meio do software Ftool®, de cada modelo para verificação da geometria com melhor potencial estrutural, considerando várias cargas. Isso está ilustrado na conforme destacado na Figura 1. Isso permite aos alunos a busca por soluções estruturais possíveis para resolver a ponte, assim como incentiva um maior interesse por parte dos estudantes nessa matéria.

Figura 1 – Estudo de modelos de pontes – Análises de esforços internos.



Fonte: Autores

Destaca-se, as propriedades do macarrão utilizado, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades do macarrão.

Propriedade	Valores
Diâmetro médio (mm)	1,900
Área de seção transversal (mm ²)	2,840
Momento de inércia da seção (mm ⁴)	0,640
Peso linear (N/m)	0,394
Comprimento médio de cada fio (m)	0,254
Carga admissível por fio (N)	41,859

Fonte: Autores

Com base nesses modelos, e em dados de módulo de elasticidade de 36 GPa do material utilizado, definiu-se a geometria a ser adotada. Posteriormente, verificou-se as quantidades de fios de macarrão a ser colocados por barras conforme Equação 1 para as barras tracionadas. Já para as barras comprimidas, considerou-se o índice de esbeltez, sendo definido conforme Equação 2.

$$\text{Número de fios} = \frac{\text{Carga da barra}(N)}{\text{Carga admissível}(N)} \quad (1)$$

$$\text{Número de fios} = \sqrt{\frac{\text{Carga} \cdot l^2}{27906 \cdot r^4}} \quad (2)$$

Destaca-se ainda que as pontes foram dimensionadas para suportar uma carga de 400 Kgf.

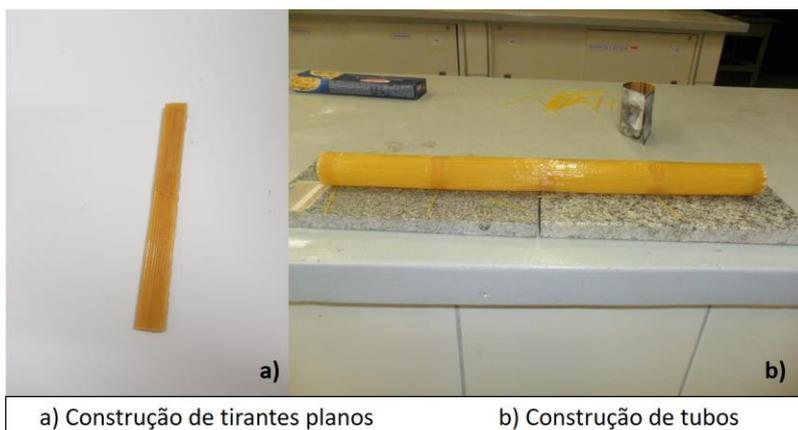
4 CONSTRUÇÃO DAS PONTES DE MACARRÃO

Em se tratando do processo construtivo, os alunos passam a entender fundamentalmente a importância dos sistemas de escoramento e de fôrmas, além do posicionamento no esquadro e de fixação de elementos estruturais e de planejamento das etapas de construção.

A Figura 2 ilustra a construção dos elementos estruturais utilizados nas confecções da ponte. No caso os tirantes planos foram utilizados nas barras que trabalhavam os esforços de tração e os tubos nas barras que sofriam compressão.

Já a Figura 3 mostra a construção da ponte em si. Observa-se aqui a preocupação clara com aspectos de escoramento para a colagem das barras, assim como a busca pela estabilidade de fixação da peça até a secagem da cola. Nesse aspecto, os alunos passaram a enxergar a importância da boa execução do elemento estrutural.

Figura 2 – Elementos estruturais.



Fonte: Autores

Figura 3 – Construção da ponte.



Fonte: Autores

A Figura 4 apresenta as pontes já construídas já no desafio de carga. Como se observa, foram confeccionados duas geometrias distintas de pontes, sendo a trapezoidal com uma construção mais fácil e com elementos mais espessos e a ponte em forma de arco, à princípio mais eficiente estruturalmente, porém mais difícil de construir.

Figura 4 – Pontes de macarrão.



Fonte: Autores

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de cargas previstas e as efetivamente suportadas pelas duas pontes estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das cargas previstas e suportadas pelas pontes.

Geometria	Carga prevista (Kgf)	Carga suportada (Kgf)	Diferença
Trapezoidal	400	212	-47,0%
Arco	400	122	-69,5%

Fonte: Autores

Verificou-se que, embora a geometria de arco promovesse uma maior eficiência no desempenho estrutural dessa ponte, o melhor resultado foi obtido pela ponte trapezoidal, além do fato de ambas apresentarem cargas suportadas significativamente menores do que a carga prevista. Conclui-se que o fator construção se tornou preponderante nessa análise. Com isso os alunos verificaram, ainda mais fortemente, a importância da construção e como ela afeta o desempenho das estruturas.

Com isso, verificou-se também que a aplicação dos conhecimentos em uma atividade prática como esse desafio possibilita aos alunos realizarem diversas ligações entre os conhecimentos adquiridos no curso de engenharia, assim como observar, clara e objetivamente, a aplicação de tais conceitos, melhorando, portanto, o aprendizado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de metodologias ativas para o ensino de Engenharia se mostra cada vez mais importante. O desafio da ponte de macarrão se insere nesse contexto de sobremaneira. Com base no exposto acerca do desafio, verificou-se a importância, tanto do projeto estrutural, como da construção dos elementos estruturais, no desempenho global da estrutura. Além disso, essa atividade se mostrou muito interessante no sentido de promover um maior interesse e aprendizado por parte dos alunos, além deles conseguirem concatenar os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

Portanto, entende-se que o objetivo foi alcançado. Faz-se necessário evoluir essas práticas na docência e promover, cada vez mais, essas metodologias de ensino de forma a gerar um

maior interesse pela engenharia, além de um maior envolvimento por parte dos alunos e do corpo docente na construção do conhecimento necessário para a formação dos futuros profissionais de Engenharia.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio institucional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará na realização das atividades da ponte de macarrão, além do fornecimento da infraestrutura física para o desenvolvimento do trabalho. Os mesmos agradecem também a Universidade Federal do Ceará pela promoção do desafio da ponte de macarrão no estado do Ceará, como forma de fomentar essas atividades docentes em diversas instituições de ensino.

REFERÊNCIAS

- BUFFONI, S. S. O.; FAÍSCA, R. G. Modelos didáticos de sistemas estruturais reduzidos através da construção de pontes de macarrão. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Educação na Engenharia, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: 2006.*
- CAMPION, C.; POPA, A. G.; CHIRA, N. Teaching Civil Engineering through students contests. In: 5th International Conference Civil Engineering - Science and Practice, February 2014, Anais...2015.*
- DWEK, M.; COUTINHO, H.; MATHEUS, F. Por Uma Formação Crítica Em Engenharia. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau. Anais... Blumenau: 2011.*
- GONÇALVES, D. J. V; FREIRE, D. Q.; LUCENA, G. D. Construindo uma ponte de macarrão. In: XLIV Congresso Brasileiro de Educação na Engenharia, Natal. Anais... Natal: 2016.*
- MILLS, J. E.; TREAGUST, D. F. Engineering Education, Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer? v. 3, n. 2, p. 2-16, 2003*
- RUGARCIA, A.; FELDER, R. M.; WOODS, D. R.; STICE, J. E. The Future of Engineering Education. Chemical Engineering Education, v. 34, p. 16-25, 2011.*
- SELVI, E.; SOTO-CABAN, S.; CAMPUS, M.; TAYLOR, R. S. AC 2011-2019: Similar Consecutive Bridge Design Projects for Freshmen and Sophomore Level Engineering Courses. In: American Society for Engineering Education, Anais...2019.*
- VALDIERO, A. C.; BORTOLAIA, L. A.; RASIA, L. A. Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaio de vibrações mecânicas como ferramenta educacional na engenharia. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia, Blumenau. Anais... Blumenau: 2011.*
- VELHO, L. M. S.; COSTA, J. O. P.; GOULART, F. L. Gargalos na formação em engenharia no Brasil : uma perspectiva dos engenheiros. Revista Tecnologia e Sociedade, p. 1-18, 2019.*

WULF, W. A.; FISHER, G. M. C. A makeover for engineering education. *Issues in Science and Technology*, v. 18, n. 3, p. 35–39, 2002.

SPAGHETTI BRIDGE CHALLENGE – IFCE EXPERIENCE IN THE LEARNING OF CONCEPTS OF STRUCTURAL BEHAVIOR AND CONSTRUCTABILITY

Abstract: *Engineering education requires specific interactions between different disciplines, so that the student is able to make assertive technical decisions. It is also important for the future civil engineer to know how to work with people, to be a team member or a leader. In this context the challenge of the spaghetti bridge is inserted. This article aims to present the experience of the insertion of the challenge of the spaghetti bridge as an activity for undergraduate students of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (IFCE), discussing all the analyzes carried out during the process of confection of the bridges and the results obtained in the disputes. There were observed as many structural design aspects as the constructability of the structural elements, as well as the development of teamwork, leadership and planning. The best results were obtained in the trapezoidal bridge, even if the arc form is, theoretically, more structurally efficient. In addition, the breaking load was 47% and 69,5% lower than the load expected for the trapezoidal and arc-shaped bridges, respectively. These facts illustrated the importance of constructive efficiency for structural performance.*

Key-words: *Spaghetti bridge. Engineering. Teaching. Structure. Constructability.*