

# ENSINO DE ESTRUTURAS TRELIÇADAS VIA COMPETIÇÃO DE PROTÓTIPO DE PONTE

TEACHING STRUSS STRUCTURES VIA BRIDGE PROTOTYPE COMPETITION

Jefferson Rodrigues-Silva<sup>1</sup>, Niltom Vieira Junior<sup>2</sup>

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v41p446-458.2022

## RESUMO

A Competição de Protótipo de Ponte (CPP) é defendida para o ensino de análise estrutural de treliças. Apesar de praticada no Ensino Médio e no Ensino Superior em cursos de Engenharia, sua conceitualização, alinhamento metodológico e curricular são divergentes e escassos na literatura. Assim, realizamos uma revisão bibliográfica narrativa com o objetivo de preencher essa lacuna, triangulando o marco teórico da CPP, relatos de experiências, a Educação STEAM (sigla do inglês para união entre Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Humanidades e Matemáticas), as metodologias ABP e gamificação e as Diretrizes Nacionais Curriculares (DCN) para o Curso de Engenharia no Brasil. Como modelo, estabeleceram-se definições conceituais, procedimentais e avaliativas no sentido de auxiliar os professores e pesquisadores a desenvolverem e pesquisarem a CPP de forma alinhada com a DCN vigente e com a Educação STEAM. Concluiu-se que a CPP é promissora para o ensino transdisciplinar entre Engenharia e outras áreas STEAM.

**Palavras-chave:** Competição de Protótipos Ponte; treliças; Educação STEAM.

## ABSTRACT

The Bridge Prototype Competition (CPP) is argued for teaching structural analysis of trusses. Despite being practiced in high school and higher education in engineering courses, its conceptualisation, methodological and curricular alignment are divergent and scarce in the literature. Thus, we carried out a narrative bibliographic review to fill this gap, triangulating the theoretical framework of the CPP, experience reports, STEAM Education (an acronym for union between Science, Technology, Engineering, Arts and Humanities, and Mathematics), the ABP method, and gamification, and the National Curriculum Guidelines (DCN) for the Engineering Course in Brazil. As a model, conceptual, procedural, and evaluative definitions were established to help teachers and researchers to develop and research the CPP in line with the current DCN and STEAM Education. It was concluded that the CPP is promising for the transdisciplinary teaching of engineering and other STEAM areas.

**Keywords:** Bridge Prototype Competition; trusses; STEAM Education.

<sup>1</sup> Prof. Me. em Engenharia Mecânica e doutorando em Educação, Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Arcos; jeffe.rodri@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr. Umberto Klock, UFPR; klockuer@ufpr.br / klockuer@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Estruturas de treliças são elementos comuns do nosso cotidiano, por exemplo, em pontes, pórticos, telhados e guias (BATISTA, 2015). A treliça simples é uma unidade triangular geometricamente estável composta de barras unidas por suas extremidades. (HIBBELER, 2009). O estudo da análise estrutural de treliças é um conteúdo-base em currículos das engenharias, como a Mecânica, a Civil entre muitas outras.

Alguns alunos, porém, têm dificuldade em aprender sobre análise estrutural (VALDIERO; BORTOLAIA; RASIA, 2011). Frequentemente eles o percebem como um conteúdo demasiado abstrato, com preciosismos matemáticos de notação matricial e vetorial (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; MILLÁN, 2013). No entanto, os objetivos de aprendizagem relacionados à análise estrutural contemplam conhecimentos conceituais e procedimentais, a partir dos quais se espera que o aluno seja capaz de entender e projetar estruturas treliçadas.

Em resposta a isso, pesquisadores propõem metodologias ativas como Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP), uso da fotografia (RODRIGUES; RUAS; ARAUJO, 2021), impressão tridimensional (QUEIROZ; SILVA; GOMES, 2020) e outras tecnologias (COSTA, 2021) no ensino de análise estrutural

Observa-se a Competição de Protótipo de Ponte (CPP) como uma proposta de ABP que promove uma experiência autêntica de engenharia (LINDSAY et al., 2008). Ela é adotada em universidades brasileiras, estrangeiras (BATISTA, 2015) e em escolas do Ensino Básico, geralmente destinada a alunos do Ensino Médio e no contexto da disciplina de Física (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008).

A autenticidade e forma ativa de aprendizagem da CPP fazem dela uma prática pedagógica transdisciplinar, que pode ser observada, portanto, pelas lentes da Educação STEAM, acrônimo do inglês que se refere à união entre Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Humanidades, Matemáticas (*Science, Technology, Engineering, Arts and Humanities, Mathematics*) (PERIGNAT;

KATZ-BUONINCONTRO, 2019). Segundo Nicolescu (1999, p. 22), a transdisciplinaridade diz respeito àquilo que “está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina”.

A CPP condiz com o perfil desejado para o egresso do curso de graduação em Engenharia, conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN): “ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica” (BRASIL, 2019).

Apesar da sua frequência, a CPP é relatada na literatura de forma pouco consensual (ROMERO; MUSEROS, 2002), por exemplo, quanto a seus objetivos de aprendizagem, métodos de avaliação, regras da competição: tipos de materiais usados, formas de premiação ou compensação.

Visto tudo isso, objetivamos esclarecer a CPP conceitualmente no paradigma da Educação STEAM, metodologicamente circunscrita nas abordagens de ABP da educação e alinhada às Diretrizes Nacionais Curriculares (DCN) para o curso de Engenharia no Brasil.

## MARCO TEÓRICO

Segundo a *Société d'Exploitation de la Tour Eiffel* (SETE, 2019), a torre Eiffel é uma estrutura metálica treliçada de 324 metros de altura e 7300 toneladas. Ela foi construída por ocasião da Exposição Universal de 1889, que comemorou o primeiro centenário da Revolução Francesa.

No dia a dia, estamos rodeados de estruturas treliçadas, como pontes, pórticos e guias (BATISTA, 2015). Uma das formas de se projetar uma estrutura treliçada é através do método dos nós, sendo denominado nó o ponto de junção dos elementos delgados que compõem as treliças. Sobre esses pontos se aplicam forças concorrentes cujos somatórios são iguais a zero, por aplicação da primeira lei de Newton (BEER et al., 2011).

No caso de uma estrutura treliçada plana isostática, em que forças externas são exercidas apenas sobre seus nós, uma vez calculadas as reações de apoio, expressam-se diversas equações lineares advindas de repetidas

aplicações da primeira lei de Newton sobre os nós dessa estrutura, com decomposição dos vetores força em parcelas em um eixo coordenado do plano (HIBBELER, 2009) e podendo ser projetado utilizando o computador (ROMERO; MUSEROS, 2002).

Os alunos frequentemente apresentam dificuldade no aprendizado teórico e procedimental relacionado à análise estrutural. De forma que metodologias ativas são visadas para o ensino desse conteúdo. Assim, introduzimos o nosso entendimento da CPP. Ela é uma abordagem que visa à transdisciplinaridade, estando alinhada com a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) e a gamificação da educação.

A CPP congrega o uso de materiais manipulativos, usa-se madeira (exemplo, palitos de picolé) ou filamentos de macarrão do tipo espaguete e materiais adesivos. Ainda, tecnologia como ferramenta educacional, trabalho colaborativo e elementos de jogos: regras, pontuação, classificação, competição e premiação. Ela se destina à aprendizagem de conceitos e procedimentos relacionados à distribuição de esforços e *design* de estruturas treliçadas. A prática envolve os processos cognitivos de planejamento, cálculo, projeto, construção, avaliação de coesão e crítica entre a teoria, calibração, medições, testes empíricos, análises estatísticas.

Esclarecemos que em CPP a palavra “protótipo” foi utilizada com o sentido de “o que foi criado primeiro; o primeiro de; original” (RIBEIRO, 2019). Ainda que se possa imaginá-lo como um modelo em escala reduzida de uma ponte real, entende-se que é um protótipo e que está em sua escala natural com fim na própria prática educacional.

Batista (2015) apresenta uma CPP, da Faculdade de Tecnologia Victor Civita (Fatec) Tatuapé, em que as pontes são feitas de macarrão e a competição comporta alunos de todos os cursos oferecidos nessa instituição na forma de um concurso. Nessa ocasião, uma comissão avaliadora é composta por diversos professores.

Na CPP, geralmente, a “recompensa” aos vencedores se dá na forma de nota na disciplina (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008). Entretanto, defende-se que implicitamente o maior ganho

se traduz na motivação à aprendizagem. Na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), as equipes inscritas na competição pagam uma taxa e, em contrapartida, recebem um kit contendo camiseta, madeira, porcas, parafusos e arruelas para serem utilizados na própria atividade.

Oliveira e Borges (2015) estudaram os efeitos das competições e das recompensas para a aprendizagem. Eles constataram que em atividades individuais, desenvolvidas em ambientes competitivos, o poder motivacional se restringe àqueles que se julgam inicialmente preparados, enquanto os demais alunos podem se sentir desmotivados. Em atividades coletivas, entretanto, tanto a competição quanto a recompensa parecem motivá-los, pois os alunos entendem que, enquanto grupo e a partir da interação, são capazes de competir.

Lemos e Pino Júnior (2008) relatam preocupação com a segurança em CPP, pois o objetivo da atividade é aumentar progressivamente a carga aplicada na ponte até que ela se rompa e, nesse momento, fragmentos de macarrão são lançados. Sugere-se, portanto, o uso de óculos de proteção para segurança durante a competição. Os mesmos autores relatam que a maior experiência acadêmica dos alunos do nível superior parece ser compensada pela maior disponibilidade para a realização da atividade pelos alunos do Ensino Médio, assim, os resultados observados em ambos os níveis escolares são similares.

Segundo a literatura, a CPP permite ao aluno uma experiência autêntica de engenharia (LINDSAY et al., 2008), de aproximação transdisciplinar entre teoria e prática (BATISTA, 2015) e com base em conhecimentos prévios (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008). Ela instiga os alunos a resolverem um problema com restrições de tempo e recursos, a buscar materiais com diferentes propriedades mecânicas, projetar, medir, construir, testar (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; MILLÁN, 2013).

A CPP auxilia no reconhecimento de estruturas construídas no mundo real, como pontes, indústrias e edifícios (ROMERO; MUSEROS, 2002) e a perceber a engenharia como parte integrante da sociedade com elementos funcionais e estéticos

(FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; MILLÁN, 2013). Ela oportuniza ainda discussão sobre questões de ética e responsabilidade profissional da engenharia, na medida em que, por meio dela, há o debate de casos reais de falhas em projetos estruturais (ROMERO; MUSEROS, 2002).

Ressalta-se no Brasil o uso do programa gratuito de análise estrutural *Interactive-Graphics Program for Structural Analysis (Ftool)*, desenvolvido com fins educacionais, pelo Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica (PUC) do Rio de Janeiro. Ele permite ao aluno usuário definir modelos estruturais, realizando cálculos de maneira direta, eficiente e simples (MARTHA, 2018).

A capacidade criativa (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; MILLÁN, 2013) e do pensamento abstrato (BATISTA, 2015) é potencializada com a CPP. Além disso, ela desenvolve habilidades interpessoais como trabalho em equipe e liderança (BATISTA, 2015). Para Lemes e Pino Júnior (2008), numa outra esfera, essa experiência promove habilidades para pesquisa, redação científica, elaboração de relatórios técnicos (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008), comunicação oral e de defesa de ideias (ROMERO; MUSEROS, 2002).

Assim, a CPP se constitui como uma forma de aprendizagem ampla, possibilitando a avaliação técnica, conceitual e atitudinal (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008). Um dos pontos-chaves da Educação STEAM é que, ainda que existam áreas trabalhadas em maior intensidade, deve haver equilíbrio na valorização entre elas; uma área não é percebida ou usada em serviço das demais em sentido unidirecional (MCKEOWN, 2019).

Nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para o curso de graduação em Engenharia, ainda que o acrônimo STEAM não esteja explicitamente citado, todas as seis características apontadas na DCN fazem parte do cerne da Educação STEAM, no sentido da formação transdisciplinar, criativa e holística (PERIGNAT; KATZ-BUONINCONTRO, 2019), entendendo a sua responsabilidade ética-profissional na sociedade.

I – ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica;

II – estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora;

III – ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia;

IV – adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática;

V – considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho;

VI – atuar com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2019, p. 43).

Frota e Filkelstein (2006), por exemplo, explicam a medição e a instrumentação como atividades transversais em projetos que rompem as barreiras das disciplinas, em uma transdisciplinaridade das engenharias com outras áreas e níveis educacionais e com implicação no pensamento cidadão e crítico sobre a vida política e cotidiana.

## MODELO DE PLANEJAMENTO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA CPP

Neste tópico será apresentado um modelo de planejamento da CPP útil ao docente nas suas escolhas pedagógicas, podendo ser adaptado às necessidades do contexto local. Este foi desenvolvido com base na literatura supracitada e por meio do conhecimento acumulado advindo da execução dessa prática no curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), *Campus Arcos*.

A CPP não é abordada aqui como um concurso em que os alunos interessados se organizam em equipes para competir apenas, mas sim como uma atividade no contexto regular de disciplinas dos cursos das engenharias ou do Ensino Básico (resguardados o ajuste do nível de exigência e a profundidade dos conceitos trabalhados), não excluindo o papel da competição como uma etapa.

Na experiência do IFMG, adotam-se palitos de picolé como material manipulativo para construção da ponte. Essa escolha é

justificada pela maior facilidade na execução de ensaios de tração e de compressão e na restauração dos palitos danificados entre um teste prévio e a competição. Além disso, a madeira se mostra mais segura do que o macarrão, pois, no momento da ruptura, relata-se a ocorrência do lançamento de fragmentos de macarrão (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008).

Além da transdisciplinaridade, dentro do contexto de Educação STEAM, a oportunidade avaliativa encontra respaldo na tríade ensino-aprendizagem-avaliação, dentro do conceito de resolução de problemas, em que é preciso avaliar o processo de aprendizagem em si e não apenas o resultado ou produto final (PIRONEL; VALLILO, 2017).

Os nomes e ementas das disciplinas variam nas instituições de ensino conforme os seus currículos. A proposta aqui apresentada envolve as disciplinas da área de:

- Engenharia: Estática, Mecânica Geral, Resistência dos Materiais, Análise Estrutural, Ensaios Destrutivos e Ensaios Não Destrutivos, Metrologia e Instrumentação.
- Materiais: Química geral, Ciências dos Materiais e Seleção de Materiais.
- Matemáticas: Geometria Analítica, Álgebra Linear e Estatística.
- Tecnologia: Métodos Numéricos, Computação Aplicada e Programação.
- Humanidades: História da Engenharia e Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Transversalmente, são requeridos saberes de Metodologia, Redação Científica e Desenho Técnico Computacional. É possível, e desejável, que a CPP seja executada por um conjunto de professores de áreas distintas. No IFMG, ela é desenvolvida por docentes das disciplinas Estática e Ciências dos Materiais.

## Objetivos de aprendizagem e competências

A seguir, no Quadro 1, são apresentados os principais objetivos de aprendizagem e as competências desenvolvidas da CPP.

**Quadro 1 – Objetivos de aprendizagem e as competências desenvolvidas da CPP**

Objetivos de aprendizagem	Competências desenvolvidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● História das treliças na humanidade;</li> <li>● Relação engenharia e sociedade;</li> <li>● Diagrama de corpo livre;</li> <li>● Cálculo das reações de apoio;</li> <li>● Geometria;</li> <li>● Decomposição de vetores sobre um eixo perpendicular;</li> <li>● Método dos nós;</li> <li>● Fator de segurança;</li> <li>● Ensaio de tração e compressão;</li> <li>● Inspeção visual;</li> <li>● Tipos de materiais adesivos e os processos mecânicos e químicos da colagem;</li> <li>● Metrologia: padrões, calibração, medição;</li> <li>● Tratamento estatístico de dados, teste de médias <i>t-student</i> e no cálculo de incerteza das medições;</li> <li>● Sistemas lineares transcritos em forma matricial;</li> <li>● Resolução de equações matriciais por programa computacional;</li> <li>● Desenho técnico computacional bidimensional;</li> <li>● Densidade linear;</li> <li>● Gestão de custo de projetos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Entender a engenharia sob o prisma da Educação STEAM;</li> <li>● Entender o processo de hipóteses e aproximações dentro da engenharia, observando a existência das variáveis controladas e não controladas e a possibilidade de diferença entre o resultado calculado e o real;</li> <li>● Entender o fazer científico, o planejamento experimental, comparação de médias, o processo de medição, e cálculo da incerteza e reportando resultados;</li> <li>● Desenvolver a capacidade de fazer escolhas de engenharia frente às demandas concorrentes (resistência mecânica, leveza da estrutura, custo etc.) de modo a obter a melhor solução;</li> <li>● Entender e manejar a tecnologia como um facilitador no trabalho de engenharia.</li> <li>● Competências II, III, V e VI da DCN para o curso de engenharia (BRASIL, 2019, p. 44).</li> </ul>

Fonte: elaborado pelos autores.

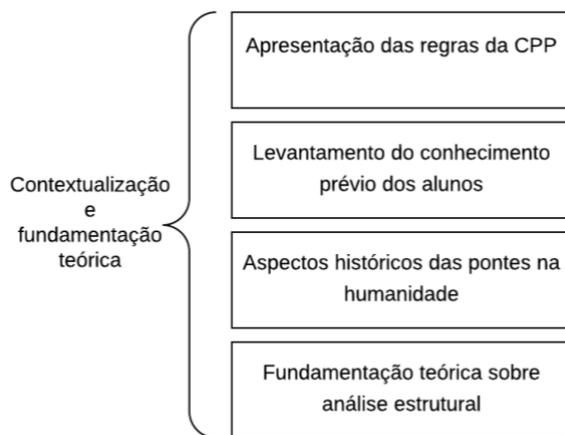
## Etapas do modelo

A seguir, explora-se o modelo perpassando pelas etapas de contextualização e fundamentação teórica, laboratório de ensaios e medições, uso do computador e aplicação da teoria, avaliação atitudinal e da aprendizagem, reflexão sobre a aprendizagem.

Primeiro, apresenta-se a prática pedagógica aos alunos e não apenas as regras da competição, mas todo o percurso de aprendizagem. Sugere-se fazer a

contextualização da engenharia no processo histórico e social, aproximando os alunos ao tema por meio da exposição de experiências e de seus conhecimentos prévios sobre estruturas treliçadas. O conhecimento prévio, subsunçor ou âncora, como denomina Ausubel, é aquele que dá significado ao aprendizado, fornecendo base para a fundamentação teórica (MOREIRA, 2011). Além disso, é reforçada a atuação profissional do engenheiro baseada no compromisso com a segurança, a ética, a responsabilidade social e ambiental, entendendo a engenharia como indissociável das humanidades (WULF, 2004). Essa primeira etapa é descrita no fluxograma da Figura 1.

**Figura 1 – Etapa de contextualização e fundamentação teórica**



Fonte: elaborada pelos autores.

Durante essa primeira etapa, e a partir da exposição dos conhecimentos prévios, os docentes distribuem os grupos de forma equalizada para que todos eles se sintam capazes de ganhar a competição. Ou seja, sem ter um grupo despontando como o provável vencedor (OLIVEIRA; BORGES, 2015).

Na interseção das áreas de mecânica e materiais, tem-se o ensaio mecânico em uma máquina universal para a determinação de propriedade mecânicas dos elementos da treliça como Forças de Ruptura na Tração ( $F_{Rup})_T$  ou na Compressão ( $F_{Rup})_C$ . Os alunos testam e fazem medições de palitos de picolé segundo diferentes marcas de fabricantes, determinam as dimensões e a resistência mecânica. Ainda, configurando os corpos-de-prova: um ou mais

palitos unidos, em comprimentos diferentes (inteiro, metade e um terço do comprimento), uma vez que se tem uma variação importante no resultado de ( $F_{Rup})_C$  em função do comprimento por causa da flambagem (HIBBELER, 2009). São feitos ensaios de tração e compressão seguindo as orientações do fabricante e de normas, no uso de padrões e na calibração e outros aspectos da metrologia.

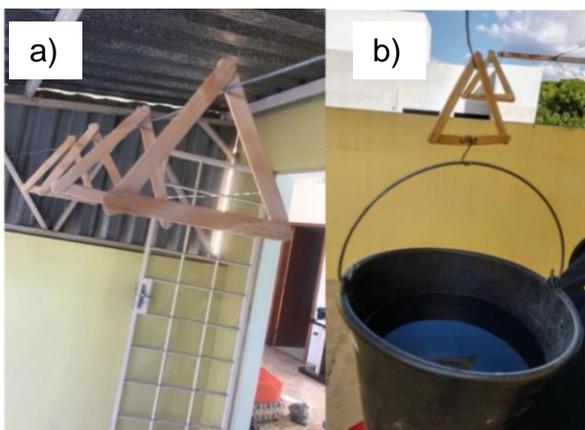
Sugere-se realizar ensaios e medições com pelo menos cinco repetições, para comparação de média por teste *t student* para grupos independentes. Dessa forma, observa-se incerteza das medições, as variações nos resultados de resistência mecânica dos palitos. Os alunos começam a entender que as medidas e desempenho real de carga que a ponte suportará provavelmente será um pouco diferente do resultado matemático exato, que existe, portanto, um erro associado.

Nesse ponto, é uma oportunidade interessante para se introduzir os conceitos de Fator de Segurança (FS): uma ponte real não pode estar solicitada próximo de seu limite de resistência mecânica. Devido às incertezas: há variáveis não controladas e aproximações que exigem uma margem de segurança (HIBBELER, 2009) e, inclusive, inerentes ao processo de medição (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018; BIPM et al. 2012).

Os alunos verificarão a compatibilidade dos materiais, a preparação de superfície, os métodos de aplicação de cola e os tempos de secagem (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). Como eles selecionam o material adesivo para ser usado na ponte, eles devem justificar essa escolha realizando testes de resistência da cola: unindo palitos com colas e preparações diferentes e fazendo testes de tração. Na indisponibilidade de uma máquina universal de ensaios, o experimento é simplificado, produzindo-se triângulos colados dos palitos. Um recipiente, por exemplo um balde, é dependurado ao triângulo e é preenchido com quantidades conhecidas de água. Isso resulta em uma carga conhecida e comparável para momento de ruptura, apesar do momento fletor atuante sobre o palito de aplicação da carga. Em seguida, verifica-se se a ruptura foi no palito ou na cola. Novamente os ensaios são feitos com,

pelo menos, cinco rodadas para cada condição. Faz-se o teste de *t student* de comparação de médias para verificar diferenças significativas por grupos independentes relativos a cada tipo de cola. A Figura 2 foi extraída do relatório de um dos grupos e ilustra o conjunto de triângulos a ser usado como repetição e execução do ensaio de resistência da cola.

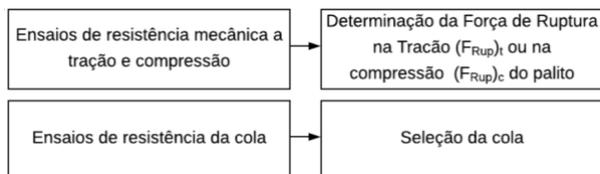
Figura 2 – Ensaio de resistência da cola



Fonte: acervo dos autores.

A Figura 3 sintetiza a etapa de ensaios para a determinação de propriedades mecânicas dos palitos e das colas.

Figura 3 – Etapas para determinação de propriedades mecânicas dos palitos e das colas



Fonte: elaborada pelos autores.

O professor pede no relatório a descrição do processo de seleção de palitos e o cálculo da taxa percentual de refugo de material. Intuitivamente eles abordarão inspeção visual nos palitos: detectam má formação nas fibras da madeira, trincas e empenamentos. Caberá ao professor, posteriormente, formalizar o conceito de inspeção visual, enfatizando que há normas, sistematização do processo, que este se insere no estudo dos Ensaio Não Destrutivos (END) e tem aplicações amplas na engenharia (SOUZA, 1982).

Quanto ao uso de computador, os alunos são incentivados a explorarem diversas

configurações de geometrias por meio do programa de análise estrutural *Ftool* ou equivalentes. O uso de programas possibilita aos grupos imaginarem modelos de pontes próprios ou verificarem modelos clássicos da literatura de forma rápida e interativa (MARTHA, 2018).

A dimensão do vão no qual a ponte se apoia é estabelecida no regulamento, não como um valor imposto fixo, mas como um intervalo. Essa liberdade gera no grupo a discussão sobre qual valor seria mais vantajoso. A partir das experiências no *Ftool*, logo eles percebem que quanto maior o vão que a ponte precisa vencer, maior a intensidade dos momentos fletores atuantes sobre a estrutura e, conseqüentemente, maiores os esforços sobre os elementos estruturais, e, portanto, o valor mais vantajoso é a dimensão mínima do intervalo (BEER et al., 2011).

Depois, faz-se o desenho técnico da ponte em programa de desenho técnico computacional, como o *AutoCAD*. Este fornece um gabarito a ser impresso para auxiliar na construção da ponte, principalmente para a união dos elementos com tamanho e a angulação correta. Além disso, como a estrutura forma muitos triângulos, o cálculo manual de todos os ângulos da estrutura pode se tornar uma tarefa trabalhosa e pouco proveitosa. O programa fornece o valor dos ângulos entre os elementos (PACHECO; OTTE, 2018). Esse dado é útil na determinação das equações de equilíbrio pelo método dos nós.

Passa-se para a etapa de aplicação do método dos nós: os alunos nomeiam os nós da estrutura (A, B, C...), representam e identificam os vetores de forças incógnitas que atuam sobre eles ( $\vec{F}_{AB}$ ,  $\vec{F}_{BA}$ ,  $\vec{F}_{CB}$ , ...) e reações de apoio, indicando as angulações dos vetores. Ademais, descrevem as equações lineares a partir da decomposição desses vetores sobre eixos coordenados XY do plano da ponte (HIBBELER, 2009). A simetria da ponte no plano faz com que o sistema seja reduzido à metade.

Escreve-se o sistema linear dessas equações na forma matricial  $\mathbf{Ax}=\mathbf{B}$ , em que  $\mathbf{A}$  é a matriz de coeficientes (representa a geometria da ponte),  $\mathbf{x}$  uma matriz coluna com as

incógnitas das intensidades das forças ( $F_{AB}$ ,  $F_{BA}$ ,  $F_{CB}$ , ...) e  $\mathbf{B}$  é a matriz resposta. Conforme se estuda em Álgebra linear, um Sistema Possível Determinado (SPD) deve possuir uma matriz de coeficientes  $\mathbf{A}$  invertível (STRANG, 2016). É importante ressaltar que elementos nulos da estrutura fazem com que a matriz  $\mathbf{A}$  deixe de ser invertível e, por isso, eles precisam ser desconsiderados das equações (BEER et al., 2011).

O escalonamento ou inversão manual da matriz se tornam algebricamente inviáveis, pois há muitas linhas e colunas. Os alunos são, então, convidados a utilizarem programas voltados para o cálculo numérico como o *Matlab*, inclusive fazendo programação própria do processo de escalonamento de matrizes (TAKI; MOHYADDIN, 2012), como é comumente explorado nas disciplinas de Computação Aplicada ou Métodos Numéricos nos currículos das engenharias.

Ao se atribuir o valor unitário para a carga central ( $\vec{P}$ ) e solucionar a equação matricial, são observados os valores de módulos máximos para tração e compressão na estrutura, identificando-se assim os elementos da estrutura mais solicitados. Divide-se o valor da força de ruptura do ensaio de tração ou compressão do palito de picolé, segundo o caso. O resultado dessa razão indica o módulo da carga  $P_{Máx}$ , uma vez que ele era antes unitário.

Nesse momento, os alunos tomam decisões de engenharia, como a de reforçar um elemento usando dois palitos, por exemplo. O *Ftool* pode ser utilizado para conferir se o resultado obtido na matriz está correto (MARTHA, 2018). A Figura 4 apresenta as atividades realizadas no computador (coluna da esquerda) e a aplicação da teoria (coluna da direita), até chegar ao momento da construção e teste do protótipo 1.

**Figura 4 – Atividades realizadas no computador (esquerda) e a aplicação da teoria (direita)**

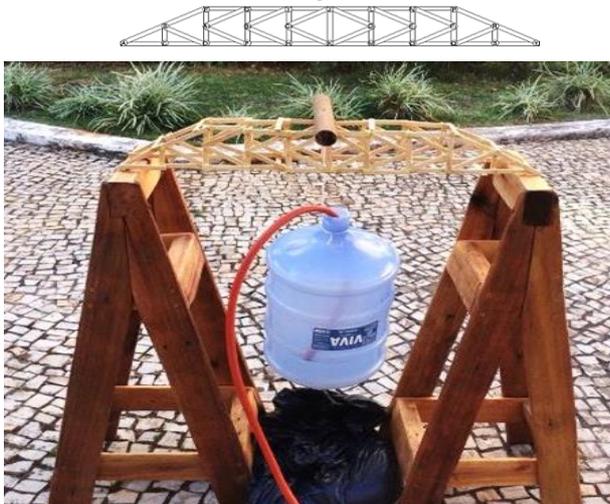


Fonte: elaborada pelos autores.

Com o projeto do protótipo da ponte finalizado, os alunos podem estimar quantos palitos vão precisar para construí-la, tal como pesar o palito e determinar a sua densidade linear ( $\rho$ ) e então determinar a massa calculada ( $m_c$ ) da ponte (desconsiderando o peso da cola) (BEER et al., 2011). Na construção de estruturas metálicas há uma relação forte entre a massa e o seu custo, vigas são comercializadas por tonelada de material (HIBBELER, 2009). Após a construção do protótipo, eles comparam o valor de massa calculada ( $m_c$ ) com a massa real ( $m_r$ ) do protótipo.

Sugere-se, para o relatório, a elaboração de um orçamento listando os materiais utilizados e, assim, determinando o gasto com a fabricação do protótipo. Gestão de custos em projetos de engenharia é fundamental, portanto, mais um importante conceito a ser abordado. Pede-se que os alunos façam o registro fotográfico e vídeos do processo de fabricação e do teste de carga do protótipo. Conforme se exemplifica na Figura 5, essa imagem foi extraída do relatório do trabalho de um dos grupos; nela se observa: a) o desenho bidimensional e b) o protótipo de ponte durante um teste de carga.

**Figura 5 – Protótipo de ponte durante um teste de carga**



Fonte: relatório de trabalho dos alunos.

O resultado do teste de carga do protótipo 1 é apresentado no relatório, comparando o módulo da carga real suportada na ruptura ( $P_{Real}$ ) em relação à carga máxima calculada ( $P_{Máx}$ ). Ainda, descrevendo o comportamento da estrutura treliçada até o momento da ruptura: responderão se a falha ocorreu no(s) elemento(s) mais solicitado(s).

Justificarão as diferenças o erro entre os módulos das cargas suportadas na ruptura real e calculada. Por exemplo, devido à incerteza das medições (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018), às considerações usadas nos métodos dos nós e observando que a treliça não é rígida e deforma-se, alterando os ângulos entre os elementos à medida que a carga vai aumentando (HIBBELER, 2009).

Calcula-se o fator de resistência mecânica específica ( $R$ ) da ponte: razão da carga suportada na ruptura real  $P_{Real}$  pelo peso da ponte ( $g \cdot m_p$ ). Este fator será o critério avaliado posteriormente na competição e representa o número de vezes que a ponte suporta o próprio peso.

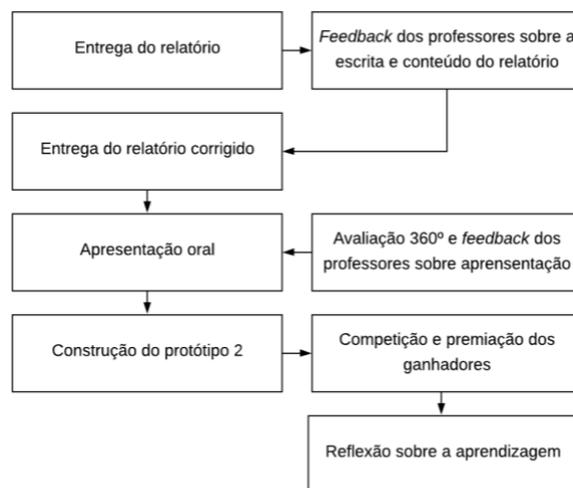
O processo de avaliação se dá na tríade ensino-aprendizagem-avaliação (PIRONEL; VALLILO, 2017). Os grupos fazem relatórios ao longo das atividades. O *feedback* dos professores sobre a escrita e conteúdo do relatório desenvolve habilidades relacionadas à metodologia científica, aspectos metrológicos e da engenharia em geral. É um momento ímpar para os professores refletirem sobre o ensino e sobre a necessidade de reforço na

fundamentação teórica, inclusive alterando a forma como o conteúdo é trabalhado. A atribuição de nota se dá sobre o relatório corrigido após o *feedback*.

Outra etapa é a apresentação oral do trabalho. Ao comunicar o pensamento, os alunos estruturam o conhecimento e isso potencializa o aprendizado. Novamente, os professores fazem apontamentos relevantes sobre o conteúdo e sobre a atividade comunicacional em si. Sugere-se a elaboração de um barema de avaliação da apresentação (previamente disponibilizado aos alunos), no qual se valoriza a entonação da voz, a postura, o uso de linguagem técnica adequada etc.

Na mesma ocasião, sugere-se uso da avaliação 360°. Nela cada aluno avalia (escala de 1 a 5) os demais colegas do grupo segundo o comportamento e responsabilidade destes com o trabalho: cumprimento dos prazos na realização das atividades, atendimento às reuniões do grupo, urbanidade etc. A Figura 6 apresenta um resumo das etapas avaliativas.

**Figura 6 – Avaliação atitudinal e da aprendizagem**



Fonte: elaborada pelos autores.

Finalmente, os alunos constroem um segundo protótipo e este servirá para a competição propriamente dita. Na maioria das vezes, no ensaio de pontes de palito de picolé, elas não “explodem” como ocorre com aquelas fabricadas com macarrão (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008). Via de regra, o segundo protótipo advém da recuperação do protótipo anterior, substituindo-se apenas as partes danificadas.

## O evento da competição

A competição é um evento que desempenha um importante caráter extensionista. Por meio do convite à comunidade externa, ela acolhe a sociedade ao espaço acadêmico e demonstra seu potencial de despertar o interesse de jovens a ingressarem em cursos das áreas STEAM. A Figura 7 é um registro fotográfico da competição no pátio do IFMG. Nela, pode-se observar os alunos competidores, de outros cursos e séries, visitantes de escolas da região circunvizinha, docentes e técnicos administrativos da instituição.

**Figura 7 – O evento Competição de Protótipo de Pontes**



Fonte: acervo dos autores.

Um regulamento da competição a organiza e a sistematiza, promovendo a possibilidade de comparação dos resultados para classificação e, então, definição dos “campeões”. Padronizam-se métodos e ferramentas de cálculo, dimensões e materiais. Há um cuidado para as regras não serem muito rígidas e prejudicarem a criatividade dos participantes. Observa-se uma autorregulação natural realizada pelos próprios alunos, em que condutas consideradas injustas são apontadas por eles. Observa-se, nesse sentido, amadurecimento pessoal e coletivo e desenvolvimento de habilidade de seguir regulamentos. Lembrando que a competição constitui uma forma de avaliação, uma vez que os grupos “vencedores” são premiados com pontos extras na disciplina, porém ela não é a principal.

## Reflexão sobre a aprendizagem

Faz-se a reflexão sobre a aprendizagem. Os alunos expõem aos colegas as suas estratégias e

os conceitos utilizados por eles, o significado idiossincrático da prática pedagógica: a perspectiva subjetiva sobre ela. É um momento propício para o docente reforçar e formalizar conceitos, sobretudo evidenciando aspectos da engenharia e relacionados às demais áreas STEAM: Ciências, Tecnologia, Artes e Humanidades, Matemáticas. Como instrumentos, pode-se servir de exposição oral e a criação de mapas conceituais.

É importante dirimir possíveis efeitos de rivalidade resultantes da competição. Exalta-se que na CPP se valoriza a aprendizagem em si e não exclusivamente o resultado da competição. Se os alunos interiorizaram e aplicaram bem os conceitos, eles serão capazes, por exemplo, de identificar e explicar as falhas no planejamento e desenvolvimento do projeto que justificam algumas ineficiências da ponte.

## CONCLUSÕES

A CPP, conforme é aqui proposta, é baseada na literatura existente e nas experiências prévias. Ela se apresenta como uma atividade de Aprendizagem Baseada em Projetos e gamificada, indicada para o ensino de estruturas em cursos de graduação em Engenharia e também para turmas do Ensino Médio, se adaptada à profundidade dos conceitos e habilidades trabalhos.

A prática é transdisciplinar e se insere no contexto da Educação STEAM. Ela é condizente com o desenvolvimento de competências e com o perfil esperado para os egressos em cursos de Engenharia no país segundo as DCN vigentes, com aprendizagem de conhecimentos e desenvolvimento de habilidades de forma holística. Além disso, o evento da competição propicia a interação entre alunos de diferentes séries e, por extensão universitária, entre a comunidade externa (LEMES; PINO JÚNIOR, 2008).

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos Metrologia Científica Industrial**, 2. ed.: Manole, 2018.

- BATISTA, A. M. Oficina Experimental na Fatec Tatuapé: o aprendizado na concepção de estruturas usando o macarrão. **Sustentabilidade, Inovação & Empreendedorismo**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 61-65, julho 2015.
- BATISTI, T. D. S.; MOSER, V.; SELPA, M. R. Processos avaliativos na educação superior: os planos de ensino em análise. **Ibero-Americana de Estudos em Educação**, v. 12, n. 3, p. 1774-1791, julho 2017.
- BEER, F. P. et al. **Mecânica Vetorial para Engenheiros: Estática**. 9. ed. [S.l.]: AMGH, 2011.
- BRASIL. Portaria Nº 502, da 31 de Maio de 2019. **Diário Oficial da União**, n. 105, p. 43, 2019.
- BRASIL. Resolução Nº 2, de 24 de Abril de 2019. **Diário Oficial da União**, n. 80, p. 43, 2019.
- BIPM; IEC; IFC; ILAC; ISO; IUPAC; IUPAP; OIML. GUM: **Guia para a expressão da incerteza de medição - Avaliação de dados de medição**. Inmetro, 2012.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 9a. ed. [S.l.]: LTC, 2016.
- CECH, E. A. Culture of Disengagement in Engineering Education. **Science, Technology, & Human Values**, p. 42-72, 2014.
- COSTA, E. N. P. Inserção de tecnologia no ensino de estruturas. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 40, p. 462-472, 2021.
- FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, G.; MILLÁN, M. Á. Structural Analysis Education: Learning by Hands-On Projects and Calculating Structures. **Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice**, n. 3, p. 244-247, jul., 2013.
- FROTA, M. N.; FILKELSTEIN, L. Educação em Metrologia e Instrumentação. **Revista de Ensino em Engenharia**, v. 25, n. 1, p. 49-65, 2006.
- HIBBELER, R. C. **Engineering Mechanics Statics**. 12. ed. [S.l.]: Pearson, 2009.
- KILPATRICK. **Change and stability in research in mathematics education**. [S.l.]: Zentralblatt fürDidaktik der Mathematik, 1988.
- LEMES, M. R.; PINO JÚNIOR, A. D. Iniciação Tecnológica: uma forma lúdica de estímulo ao aprendizado. **Revista Educação**, Anhanguera, v. XI, n. 12, p. 37-52, nov., 2008.
- LINDSAY, E. et al. **Engineering Students or Student Engineers?** Proceedings of the 2008 AaeE Conference. Yeppoon: AaeE. 2008. p. 1-6.
- MARTHA, L. F. Interactive-Graphics Program for Structural Analysis. **Interactive-Graphics Program for Structural Analysis**, 2018. Disponível em: [https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool/index\\_en.html](https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool/index_en.html). Acesso em: 24 mai. 2020.
- MCKEOWN, A. From STEM to STEAM at the Beautiful Midden Field School: An Artist/Educator Perspective. In: **TRANSDISCIPLINARY APPROACHES TO SCIENCE The STEAM Revolution: Transdisciplinary Approaches to Science, and Mathematics**. Suíza: Springer, 2019.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. 1ª. ed. [S.l.]: Livraria da Física, 2011.
- NICOLESCU, Basarab. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. Tradução de Lucia Pereira de Souza. São Paulo: Triom, 1999.
- OLIVEIRA, E. W.; BORGES, M. R. D. S. O Efeito da Competição e da Recompensa na Motivação à Aprendizagem. **Proceedings... SBSC 2015**, Salvador, p. 197-204, nov. 2015.
- PACHECO, L. H. N.; OTTE, J. Integração entre as disciplinas de Desenho Técnico I e Informática Básica auxiliada por Software Gráfico em Curso Técnico. **Thema**, Pelotas, v. 15, p. 1351-1361, 2018.
- PERIGNAT, E.; KATZ-BUONINCONTRO, J. STEAM in practice and research: An integrative literature review. **Elsevier**, p. 31-43, 2019.

- PIRONEL, M.; VALLILO, S. A. M. O papel da avaliação na metodologia de ensino-aprendizagem-avaliação de matemática através da resolução de problemas. In: ONUCHIC, L. D. L. R.; LEAL JUNIOR, L. C.; PIRONAL, M. **Perspectivas para Resolução de Problemas**. 1a. ed. São Paulo: Livraria da Física, p. 279-304, 2017.
- QUEIROZ, J. H. M.; SILVA, M. F. A.; GOMES, H. P. R. Aplicação De Impressões 3D Como Recurso Didático Para O Ensino Do Componente Curricular Estruturas De Aço Na Ufersa - Cmpf. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, n. 1, p. 70–78, 2020.
- RIBEIRO, D. Dicionário Online de Português. **Dicio**, nov. 2019. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/prototipo/>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- RODRIGUES, S.; RUAS, C.; ARAUJO, N. B. DE. Selfie das estruturas: uma metodologia de ensino com o uso da fotografia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 40, p. 209–218, 2021.
- ROMERO, M. L.; MUSEROS, P. Structural Analysis Education through Model Experiments and Computer Simulation. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, n. 4, p. 170-175, out., 2002.
- SETE. La tour Eiffel. **Société d'Exploitation de la Tour Eiffel**, 03 dez. 2019. Disponível em: <https://www.toureffel.paris/es/noticias/130-anos/la-torre-laboratorio-cientifico>. Acesso em: 23 mai. 2020.
- SOUZA, S. A. D. **Ensaaios Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos**. 5a. ed. [S.l.]: Blucher, 1982.
- TAKI, A. H.; MOHYADDIN, S. A. Developing of Jacobi Method to Solve Complex Linear System. **International Journal of computational and Applied Mathematics**, v. 7, p. 315-323, 2012.
- VALDIERO, A. C.; BORTOLAIA, L. A.; RASIA, L. A. Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaio de pórticos como objeto educacional na engenharia. **Anais... XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**. Blumenau: [s.n.]. 2011.
- WULF, W. A. Some Thoughts on Engineering as a Humanistic Discipline. **Int. J. Engng**, v. 20, p. 313-314, 2004.

## DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



**Jefferson Rodrigues-Silva** – Graduado e mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). Doutorando em Educação pela Universitat de Girona (UdG). Professor Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) Campus Arcos, onde ocupou as funções de Representante local da Assessoria de Relações Internacionais (ARINTER), Presidente do Comitê de Educação a Distância (CEAD) e Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica. Instância na The Hague University of Applied Sciences (Países Baixos) e foi professor visitante no Cégep de Trois-Rivières (Canadá). Pesquisa educação em engenharia, formação de professores, educação STEAM.



**Nilton Vieira Junior** – Pós-doutor em informática na educação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Doutorado e mestre em engenharia elétrica, bacharelado em engenharia elétrica e direito, licenciatura em matemática e física. Professor do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) Campus Arcos, onde já atuou como diretor de ensino, chefe do departamento de ciências aplicadas, coordenador da pós-graduação em docência e do bacharelado em engenharia mecânica. Coordenou projeto de cooperação internacional (Brasil-França) em educação profissional e tecnológica na área da indústria eletroeletrônica. Recebeu em 2013 dois prêmios Mercosul de Ciência e Tecnologia por pesquisas voltadas à educação em ciências (conferidos pela UNESCO e CNPq).