

# DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA ENSINO DE ENGENHARIA: UMA ABORDAGEM CONSTRUTIVA DE BAIXO CUSTO

**Vinícius Malta Rabello**

Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
vinicius.malta.rabello@gmail.com

**Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega**

Pós-Doutor em Engenharia pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ) e do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
engmarcelocefet@terra.com.br

## RESUMO

Grande parte das matérias constantes nos parâmetros curriculares dos cursos de engenharia possuem abordagem majoritariamente teórica, acarretando dificuldades na contextualização dos conceitos aprendidos frente a aplicação prática destes conhecimentos. Desta forma, neste trabalho foram propostos cinco modelos físicos qualitativos e quantitativos com aplicação direta no ensino de resistência dos materiais, sendo também possível abordar outros conteúdos como isostática e mecânica, além de realizar associação ao comportamento das estruturas construtivas. Os modelos construídos foram disponibilizados para uso na universidade e foi analisado seu comportamento frente o esperado teoricamente. Os resultados obtidos no teste dos protótipos apresentaram significativa concordância com os modelos matemáticos utilizados na engenharia.

**Palavras-chave:** Ensino de engenharia. Modelos físicos qualitativos e quantitativos. Resistência dos materiais.

## PROTOTYPE DEVELOPMENT FOR ENGINEERING EDUCATION: A LOW COST CONSTRUCTIVE APPROACH

### ABSTRACT

Much of the matters in the curriculum parameters of engineering courses had a theoretical approach, leading to difficulties in the context of the concepts learned in the practical application of this knowledge. Thus, this work were proposed five qualitative and quantitative physical models with direct application in the educational strength of materials. From these models, it was also possible to address other issues such as isostatic and mechanics, and perform association with the conduct of constructive structures. The constructed models were available for use at the university and analyzed of its theoretically expected behavior. The results of testing the prototypes had significance agreement with the mathematical models used in engineering.

**Keywords:** Engineering education. Qualitative and quantitative physical models. Mechanics of Materials.

## 1 INTRODUÇÃO

Na grade curricular dos cursos de engenharia, em geral, muitas das disciplinas possuem uma abordagem teórica, o que pode gerar dificuldade na contextualização dos conceitos aprendidos, uma vez que nas aulas dos cursos de engenharia ainda predominam métodos tradicionais de ensino baseados na transmissão/recepção de conhecimentos por meio de aulas expositivas (SALUM, 1999).

Visando solucionar a dificuldade em compreender certos fenômenos físicos que não são visíveis sem utilização de aparatos tecnológicos, buscam-se formas alternativas para auxiliar nesta questão. Uma das alternativas propostas é o desenvolvimento de modelos físicos qualitativos, que podem proporcionar um aprendizado contextualizado à prática, no qual o aluno participa de forma ativa, servindo, desta forma, como base para solucionar diversas questões com as quais ele poderá se deparar em sua vida profissional.

Por outro lado, diversos experimentos disponíveis no mercado possuem elevado custo de aquisição e operação, problema este que segundo Oliveira (2008) é a principal barreira à abertura de cursos de engenharia no setor privado.

Para que estas dificuldades sejam minimizadas o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e construir experimentos de baixo custo para apresentar os fenômenos físicos de flexão, deformação, flambagem e fator de empacotamento de forma mais clara e prática aos alunos de graduação nos cursos de engenharia, especialmente na disciplina de Resistência dos Materiais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram construídos cinco modelos físicos qualitativos/quantitativos, os quais foram submetidos a ensaios para verificação da sua eficácia na simulação dos fenômenos estudados.

### 2.1 Análise da flexão em vigas engastadas e biapoiadas

Para representação desta experiência foi desenvolvido um modelo utilizando madeira de demolição que permitisse o ensaio de flexão, tanto na condição biapoiada quanto na engastada. Para tanto, o modelo desenvolvido contém um rasgo em sua parte superior para que seja realizado o engaste e possui apoios do tipo rolete em sua base para ensaio na condição biapoiada.

O modelo permite que sejam substituídas as vigas. Neste trabalho foram ensaiadas vigas de aço inox, alumínio e policarbonato, e comparadas com o resultado teórico esperado calculado através das equações disponíveis na literatura, que são:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{-P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad (\text{Eq.1})$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{-P \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (\text{Eq.2})$$

Também foram utilizados os softwares *Ftool* e *Force Effect* para cálculo da deformação e visualização das forças atuantes.

## 2.2 Estudo da Flambagem e cálculo do P crítico em pilares

Para cálculo da carga crítica nos pilares foi construído um modelo composto por base em madeira, espuma de poliuretano expandido D33 biengastada de dimensões (35 \* 35 \* 230) mm. Sobre a espuma foi colado um compartimento para receber as cargas que consiste em uma placa de isopor (poliestireno expandido) onde foram colocados pesos até que se configure a flambagem. Este pilar terá a conformação do tipo extremidade biengastada ( $k=0,5$ ). Os resultados observados foram comparados com o cálculo teórico previsto pela equação 3.

$$P_{cr} = \frac{E \times I \times \pi^2}{(K \times L)^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

## 2.3 Demonstração dos fenômenos de tração e compressão nas “fibras” internas de uma viga biapoiada com cálculo da linha neutra

Será utilizada espuma de poliuretano expandido D33 com dimensões de (0,15 \* 0,15 \* 0,50) m. Nesta espuma foram desenhadas linhas por todo seu comprimento a cada 0,05 metros.

Posteriormente, foram medidas a nova distância destas linhas após aplicação de carga para observação da tração e compressão das fibras da seção, bem como identificação da linha neutra.

## 2.4 Modelos de empacotamento esférico e cálculo do fator de empacotamento

Foram construídos modelos compostos por bolas de isopor (poliestireno expandido) e fixação por fios de aço e cola de isopor para demonstração dos principais modelos de empacotamento esférico e cálculo do seu fator de empacotamento. Foi realizado um ensaio de submersão em recipiente graduado para verificação do volume da estrutura e comparação com a teoria. Os modelos construídos foram os de Cúbica de Corpo Centrado (CCC) FEA = 0,68, Cúbica de Face Centrada (CFC) FEA = 0,74 e Hexagonal Compacta (HC) FEA = 0,74.

## 2.5 Modelo para demonstração dos efeitos da força de protensão

Foi construído um modelo em isopor e fio de cobre rígido para demonstração dos efeitos da protensão nas estruturas, realizando uma analogia a uma viga de concreto protendido. Foram utilizadas duas placas de isopor de dimensões (25 \* 50 \* 200) mm, com carregamento em sua parte superior, sendo seccionada em sua parte inferior a cada três centímetros, para possível visualização dos efeitos da tração nas fibras inferiores.

Uma das placas possui um fio de cobre tensionado para simular os efeitos da protensão enquanto a outra será composta somente pelo isopor. Foi realizada a comparação visual dos efeitos da flexão entre as duas placas, observando diferenças no efeito da força de tração na parte seccionada do isopor.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do desempenho dos modelos desenvolvidos estão descritos nesta seção, bem como a comparação dos resultados teóricos e práticos da flexão em vigas engastadas e biapoiadas, tração e compressão nas fibras internas de uma viga biapoiada, flambagem e cálculo do P crítico em pilares, fator de empacotamento esférico e demonstração dos efeitos da força de protensão.

#### 3.1 Avaliação do desempenho do modelo de análise da flexão em vigas engastadas e biapoiadas - Comparação resultado Teórico x Prático

Conforme descrito anteriormente os resultados teóricos foram obtidos através de cálculos utilizando as equações de deflexão como proposto por (HIBBELER, 2010). Na Tabela 1 estão descritos os valores encontrados após experimento.

Tabela 1: Erro (%) experimento x teórico (Flexão)

<b>Régua Alumínio (34,9 x 1)mm</b>			
<b>Tipo de apoio</b>	<b>Valor teórico (mm)</b>	<b>Valor do experimento (mm)</b>	<b>Erro %</b>
Biapoiada (P=1,50N)	3,37	3	-10,98
Engastada (P=1,01N)	13,23	14	5,82
<b>Régua Poliestireno (34,9 x 2,9)mm</b>			
<b>Tipo de apoio</b>	<b>Valor teórico (mm)</b>	<b>Valor do experimento (mm)</b>	<b>Erro %</b>
Biapoiada (P=1,50N)	3,48	4	14,94
Engastada (P=1,01N)	13,66	15	10,98
<b>Régua Aço Inox (25,2 x 1,1)mm</b>			
<b>Tipo de apoio</b>	<b>Valor teórico (mm)</b>	<b>Valor do experimento (mm)</b>	<b>Erro %</b>
Biapoiada (P=1,50N)	1,23	2	62,60
Engastada (P=1,01N)	4,82	7	45,23
<b>Régua Poliestireno (25,8 x 1,7)mm</b>			
<b>Tipo de apoio</b>	<b>Valor teórico (mm)</b>	<b>Valor do experimento (mm)</b>	<b>Erro %</b>
Biapoiada (P=1,01N)	15,7	20	27,39
Engastada	132	-	-

Fonte: Os autores

Os prováveis motivos para estes erros, devem-se a pequena deformação observada no caso biapoiado, onde os erros ocasionados pelo observador, como erros de paralaxe, podem influenciar efetivamente. Mesmo na situação engastada, apesar de valores maiores, os erros de poucos milímetros causados por essas questões também são significativos estatisticamente.

A régua de aço inox, devido ao seu maior módulo de elasticidade teórico apresentou os menores valores de flexão, tornando a observação da flecha mais difícil. Os erros apresentados também foram altos o que indica que o módulo de elasticidade teórico utilizado deve ser superior ao que de fato compõe o material ensaiado. A régua de poliestireno de menor espessura também apresentou erros elevados, o que pode ser creditado a alta deformação, que já pode ter extrapolado a fase de deformação elástica

Devido a divergência de seção entre os materiais não é possível afirmar qual possui o melhor desempenho. Entretanto, realizando comparação entre as réguas, as que apresentaram melhores resultados foram o alumínio e o poliestireno (régua de 2,7 mm de espessura). Nestes, os erros percentuais observados tanto na conformação de engaste, quanto na situação biapoiada foram satisfatórios, mostrando-se bons materiais para utilização no protótipo. A régua de poliestireno de 1,1 mm, apesar dos erros percentuais elevados, foi um bom material para demonstração visual dos efeitos de flexão no caso biapoiado.

### **3.2 Avaliação do desempenho do modelo de demonstração dos fenômenos de tração e compressão nas fibras internas de uma viga biapoiada**

De acordo com Hibbeler (2010) em materiais homogêneos a linha neutra deve apresentar-se no centróide da peça. No caso do material estudado, poliuretano expandido de dimensões (0,15 x 0,15 x 0,15) m, o valor teórico esperado para a linha neutra deveria seria de 0,075 m. Ao aplicar carga de aproximadamente 50 N de forma pontual, através de um T em madeira estrutural maçaranduba (*Manilcara spp.*) de alta densidade específica, observamos o resultado bem próximo ao esperado teoricamente, menos de 5 milímetros de divergência (0,079 m). Entretanto, visualmente o comportamento de flexão ao longo da peça não foi satisfatório, pois houve deformação excessiva no local de aplicação da carga, neste caso existindo a possibilidade de o material não mais estar trabalhando na fase elástica.

Visando demonstrar visualmente de forma mais clara o comportamento, retirando as possíveis divergências do esmagamento provocado pelo peso sobre a superfície de poliuretano expandido, a experiência foi realizada novamente efetuando somente forças de momento fletor. Neste caso, observamos um comportamento visual excelente e o valor da linha neutra adequado ao previsto teoricamente para um material homogêneo.

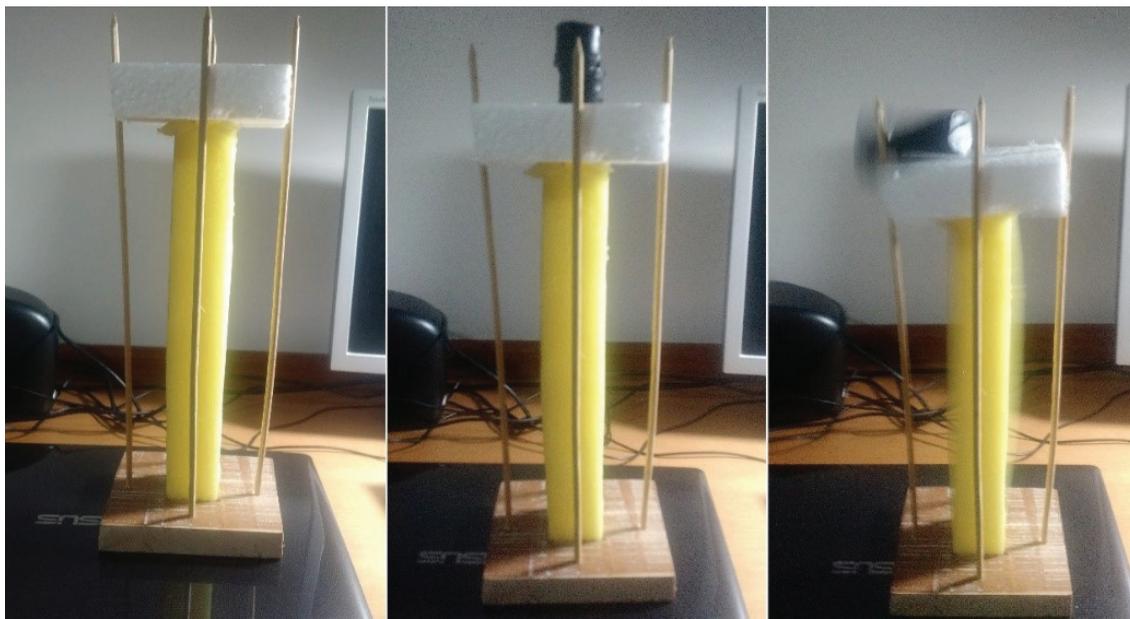
### **3.3 Análise do desempenho do modelo de estudo da flambagem e cálculo do P crítico em pilares**

Para cálculo da carga crítica do pilar utilizou-se a fórmula de Euler (Eq. 3) para verificar o valor teórico e realizar comparação com o valor observado no experimento. O valor teórico obtido foi de 1,03 N com base na fórmula de Euler e após consulta a ensaios realizados em espuma D33 por (SOSNOSKI, 2012).

Conforme pode ser observado na Figura 1 ao realizar a aplicação de carga de 1,00 N o pilar ainda não apresenta comportamento claro de flambagem. Ao aplicar carga de 1,50 N este comportamento já é visível chegando em alguns dos ensaios ao colapso, onde o pilar flamba em excesso derrubando os pesos aplicados. Os valores são próximos, entretanto foi necessário inferir vários valores a partir de ensaios anteriormente realizados, bem como considerar que

a espuma apresentava, para este carregamento, um comportamento linear na relação tensão deformação, o que pode justificar o erro.

Figura 1: Ensaio de flambagem (0 N, 1 N e 1,5 N)



Fonte: Os autores

### 3.4 Análise do desempenho do modelo do fator de empacotamento esférico

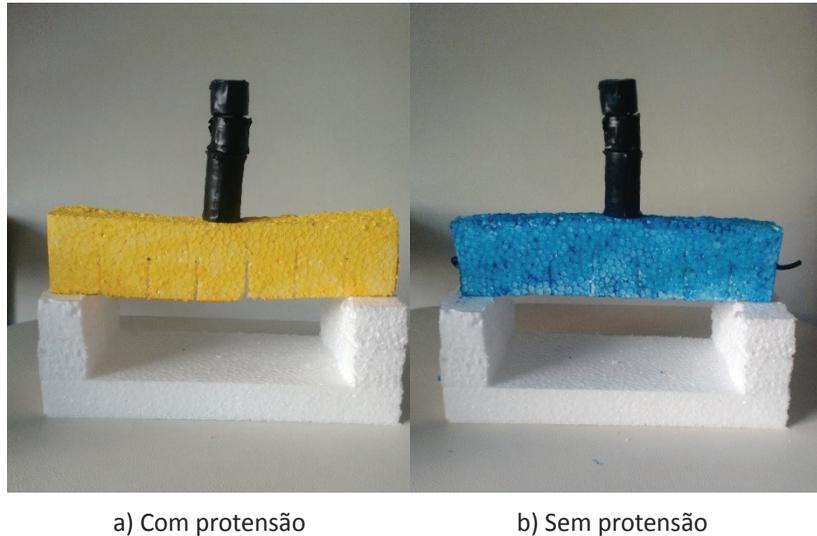
O modelo de empacotamento esférico do tipo cúbica de corpo centrado (CCC) após submersão em recipiente de diâmetro igual a 185 mm apresentou um deslocamento da coluna de água de 40mm. Calculando o volume ocupado obtivemos o valor de  $1,0752 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , e realizando a divisão pelo volume teórico do cubo de dimensões iguais a 11,4 cm ( $V = 1,4815 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ), obtivemos um valor de 0,725, um pouco superior ao previsto FEA = 0,68. Entretanto é um bom resultado com erro de 6,2%. Podemos atribuir parte desta divergência a cola e aos arames utilizados para amarração além da dificuldade em cortar as bolas de isopor de forma uniforme, o que pode ocasionar eventuais divergências.

Para os outros dois modelos os valores observados também foram satisfatórios, 0,765 para Hexagonal Compacta (HC), frente ao previsto de 0,74, obtendo desta forma um erro percentual de apenas 3,37%. Já o modelo cúbica de face centrada (CFC) obteve um Fator de Empacotamento Atômico (FEA) de 0,79, frente aos 0,74 esperados teoricamente, gerando desta forma um erro de 6,75 %.

### 3.5 Análise do desempenho dos modelos para demonstração dos efeitos da força de protensão

Para análise do desempenho do experimento, foi aplicada uma carga pontual de 201, 5g, ( $F = 1,98 \text{ N}$ ) em placas com e sem protensão, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Análise da tração fibras inferiores



Fonte: Os autores

É possível verificar claramente que a força de protensão atuou de forma significativa impedindo que as “fibras” inferiores do isopor sofressem tração, pois ao observarmos as figuras verificamos que as fendas presentes na placa de cor amarela (sem protensão) se abriram visivelmente, enquanto as da placa de isopor de cor azul (com protensão) permaneceram sem apresentar abertura, o que nos leva a crer que a força de protensão aplicada foi eficaz para impedir os esforços de tração na peça.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da existência de erros percentuais frente aos valores teóricos nos experimentos realizados, a demonstração visual, que é o elemento principal a ser alcançado nos modelos físicos qualitativos, foi extremamente satisfatória, apresentando de forma clara os fenômenos ocorridos, o que nos leva a crer que todos os experimentos podem ser úteis no auxílio à fixação de conceitos por parte de estudantes universitários de cursos de engenharia.

O custo total para confecção de todos os experimentos foi inferior a cem reais, o que demonstra que com um investimento muito pequeno e horas de trabalho é possível construir os protótipos utilizados. Para obtenção de maior precisão nas medições seria necessária a aquisição de instrumentos e de maquinário mais preciso para a confecção dos protótipos, o que inviabilizaria a proposta de baixo investimento financeiro.

Portanto estes experimentos demonstram ser um bom primeiro passo para que ocorra uma maior associação da prática com os conhecimentos teóricos, sanando dessa forma diversas dúvidas comuns a vários alunos dos cursos de graduação em engenharia, contribuindo para melhoria no processo ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria Cascão Ferreira de. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ATCP ENGENHARIA FÍSICA. **Módulos elásticos dos materiais**. Disponível em: <<http://www.atcp.com.br/pt/produtos/caracterizacao-materiais/propriedades-materiais/tabelas-propriedades.html>>. Acesso em: 03 maio 2016.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CHRISTOFORO, Luis André; RIBEIRO FILHO, Sérgio Luiz Moni; PANZERA, Túlio Hallak; LAHR; Francisco Antonio Rocco. Metodologia para o cálculo dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal em vigas de madeira de dimensões estruturais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 610-615, abr. 2013.

LORENZO CONSALEZ, Luigi Betazzoni. **Maquetes: a representação do espaço no projeto arquitetônico**. São Paulo: Gustavo Gili, 2001. 5ª impr. 2015.

HARRIS, Harry G.; SABNIS, Gajanan M. **Structural modeling and experimental techniques**. 2. ed. Flórida: CRC Press LLC, 1999.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7.ed. São Paulo: Pearson, 2010.

MANHAES, L. V; SILVA, R. C; LOPES, J. M; JUNIOR, G. M. A; NÓBREGA, M. J. R. Aplicação da metodologia ativa no processo ensino-aprendizagem nos cursos de engenharia elétrica e mecânica da UNISUAM: projeto e desenvolvimento de bancadas e painéis didáticos. In: SHO – 2016 INTERNATIONAL SUMPOSIUM ON OCCUPATIONAL SAFETY AND HYGIENE, 2016, Guimarães. **Anais...** Guimarães, 2016.

MARTHA, Luiz Fernando Campos Ramos. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 14ª Tiragem 2010.

MOLINA, M. L. A; JUNIOR, W. A. Formação em engenharia civil: desafios para o currículo na UFJF. In: XLII COBENGE - XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2014, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, 2014. p. 18-30.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. Reimpr. 2015. v. 1.

OLIVEIRA, Vanderlí F. de. Crescimento, evolução e o futuro dos cursos de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2008. Disponível em: <exatasfepi.com.br:8088/exatas/wp.../Artigo\_IEP\_AULA2.pdf>.

RODRIGUES, C. S. C; PINTO, R. A. M; RODRIGUES, P. F. N. Uma aplicação da realidade aumentada no ensino de modelagem dos sistemas estruturais. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 2, n. 2, p. 81-95, 2010.

SALUM, M. J. G. Os currículos de engenharia no Brasil: estágio atual e tendências. In: VON LINSINGEN, I. et al. (Orgs). **Formação do engenheiro: desafios da atuação docente, tendências curriculares e questões contemporâneas da educação tecnológica**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999. p. 107-117.

SIQUEIRA, B.; FIORITI, C. F.; OKIMOTO, F. S. Modelos qualitativos para pré-avaliação do comportamento de sistemas estruturais: instrumento para o ensino de estruturas. In: XLII COBENGE - XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2014, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, 2014. p. 1-11.

SOSNOSNKI, Leandro. **Incerteza de medição aplicada a ensaios de indentação pós fadiga em colchões e colchonetes de espuma flexível de poliuretano**. Porto Alegre, 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2012.

SUSSEKIND, José Carlos. **Curso de análise estrutural: estruturas isostáticas** 4. ed. Porto Alegre: Globo, 1979.

VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de ciência dos materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.