

## **CONSTRUÇÃO DE MODELO FÍSICO REDUZIDO PARA DEMONSTRAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PÓRTICO HIPERESTÁTICO DE CONCRETO PROTENDIDO**

**Caio H. M. R. Albuquerque** – caio\_hra@hotmail.com

Universidade Federal da Bahia

Rua Professor Aristides Novis, 2, Federação

40210-630 – Salvador – Bahia

**Mikhael A. de A. Santos** – mikhael\_aguiar@hotmail.com

**Matheus F. S. Magnavita** – matheusmag094@gmail.com

**Luana B. dos Santos** – luana\_\_barreiros@hotmail.com

**Daniel de S. Machado** – danieldesouzamachado@yahoo.com

**Resumo:** *Este trabalho busca discorrer sobre a situação atual do ensino da engenharia e desenvolver um método para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem na Universidade. Tal metodologia consiste na construção de um modelo físico reduzido para ser utilizado em sala de aula, como demonstração do comportamento de pórtico hiperestático de concreto protendido. O protótipo municia o docente de uma ferramenta capaz de apresentar aos discentes de maneira clara, em uma experiência visual e tátil, os conceitos abordados em sala, despertando neles o interesse pela disciplina e desenvolvendo habilidades primordiais para a vivência da profissão. A utilização de modelos reduzidos surge então como forma alternativa de demonstrar conceitos de engenharia, método eficiente e didático e que pode ser utilizado para as diferentes matérias da cadeia de estruturas. Todo o processo de confecção, materiais, softwares e equipamentos necessários, serão abordados no trabalho, sendo possível sua reprodução para elaboração de diferentes sistemas estruturais.*

**Palavras-chave:** *Modelo físico, Ensino, Didática, Concreto protendido.*

### **1 INTRODUÇÃO**

O modelo de ensino que vem sendo praticado nas diversas etapas do aprendizado, desde o ensino fundamental até ensino superior, estabelece uma hierarquia entre educador e educando, concebendo o primeiro como detentor do conhecimento e o último como receptáculo de informações. Libâneo (1994) afirma que “a relação entre ensino e aprendizagem não é mecânica, não é uma simples transmissão do professor que ensina para um aluno que aprende”, contrariando a prática vigente nas nossas escolas. Ele contrapõe, pontuando que este é, na

verdade, “uma relação recíproca na qual se destacam o papel dirigente do professor e a atividade dos alunos”, reforçando o papel ativo do discente no processo ensino-aprendizagem.

A solução dos problemas da prática educativa está, segundo Fernández et al. (1998), “no aprofundamento de como os educandos aprendem e como o processo de ensinar pode conduzir à aprendizagem”. Esse pensamento nos leva à necessidade do docente de entender seus discentes, com suas demandas, anseios e conhecimentos prévios, e desenvolver métodos que despertem nestes o interesse pelo conteúdo abordado. Isto posto, evidencia-se a importância do desenvolvimento de modelos físicos reduzidos no ensino da engenharia.

A aplicação de modelos procede no sentido de tornar vívida a experiência do aluno, auxiliando na compreensão dos fenômenos relacionados ao comportamento das estruturas. Tal percepção mostra-se extremamente valiosa ao futuro profissional, quando lhe for exigido o desenvolvimento de soluções para problemas de engenharia.

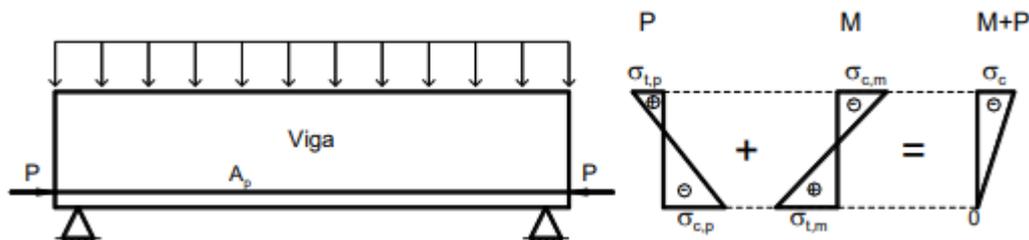
O projeto tem como objetivo a elaboração de um modelo físico reduzido de estrutura de concreto pretendido de caráter didático. A análise qualitativa do comportamento do modelo é aplicada em sala de aula, no momento do ensino, objetivando proporcionar aos discentes uma experiência visual e tátil, aproximando o conteúdo teórico exposto à sua vivência. Dessa forma, essa pesquisa busca aprimorar o método de ensino da disciplina Estruturas de Concreto Armado III, oferecida pelo Departamento de Construção e Estruturas (DCE) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), dinamizando as aulas e auxiliando o processo de ensino-aprendizagem, tornando mais agradável e estimulante o estudo da matéria.

A estrutura do presente trabalho consiste na contextualização do sistema estrutural a que se refere o modelo físico, de concreto pretendido, e na análise acerca da metodologia aplicada no ensino da engenharia. Quanto ao modelo, será exposto seu processo de criação, abordando materiais, softwares e equipamentos utilizados no projeto do modelo. Por fim, realizar-se-á uma análise dos resultados obtidos, tanto quando da construção do modelo quanto da sua aplicação em sala de aula, levando às conclusões obtidas.

## 2 A PROTENSÃO

A definição de protensão, segundo Pfeil (1988), é “o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações”. No caso de estruturas de concreto, a melhoria está associada à resistência à tração, isso porque o concreto apresenta elevada resistência à compressão, sendo o  $f_{ck}$  (resistência característica à compressão do concreto) mínimo para estruturas de concreto pretendido, de acordo com a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2014), de 25 MPa, mas, por outro lado, a resistência à tração corresponde a cerca de apenas 10% da resistência à compressão. Essa porcentagem ainda diminui quando se trata de concretos de altas resistências, chegando até a cerca de 5%, com o valor da resistência à tração podendo ser obtido através de formulações contidas na NBR 6118 (ABNT, 2014). Além de pequena, essa última é também pouco confiável, e isto se deve ao fato desta ser ainda mais reduzida, até eliminada, devido ao aparecimento de fissuras no processo de retração, sendo normalmente desprezada durante os cálculos (PFEIL, 1988). Logo, a protensão aplicada no concreto atua em zonas em que, ao serem aplicadas as ações sobre a estrutura, surgirão esforços de tração, pré-esforçando a peça com esforços de compressão, em vista a atenuar ou extinguir os esforços de tração, como exposto na figura 1.

Figura 1 - Tensões normais em viga protendida



Fonte: Bastos (2018)

A aplicação da protensão, por efeito, mitiga ou extingue o processo de abertura de fissuras, a depender da intensidade da força de protensão, cujo cálculo deve seguir os parâmetros definidos na NBR 6118 (ABNT, 2014), de acordo com o nível de protensão exigido à estrutura. Essa força é transmitida à peça através da ação da armadura ativa, que pode ser composta por barras, fios isolados ou cordoalhas (ABNT, 2014). Essas armaduras utilizam aço de alta resistência, como o CP 190 RB, que apresenta limite de resistência à tração de 1900 MPa, em face ao CA 50, utilizado em armaduras passivas, que apresenta limite de resistência à tração de 500 MPa. Outra característica do aço citado é a baixa taxa de relaxação, necessária para reduzir as perdas de força de protensão associadas ao efeito de relaxação da armadura ativa.

Um efeito adicional à aplicação da protensão é a redução de flechas, útil para aumentar o conforto do usuário e atender aos requisitos referentes ao ELS (Estado Limite de Serviço) impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014). A protensão proporciona também o alcance de vãos livres maiores e a execução de peças mais esbeltas, o que torna a técnica bastante útil para estruturas que exigem tais características, como pontes e lajes nervuradas, sendo um exemplo famoso o Museu de Arte Moderna de São Paulo (MASP), atendendo à arquitetura de Lina Bo Bardi, com seu vão livre de 74m.

### 3 O ENSINO

O modelo de ensino desenvolvido nas escolas de engenharia ainda é, predominantemente, o modelo tradicional. Esse se baseia no conceito de que o homem, no início da vida, é uma tábua rasa, atuando como um receptor passivo de informações (MIZUKAMI, 1986). Dessa forma, fica estabelecida uma hierarquia no processo de ensino, distanciando o professor do aluno.

Em decorrência desse modelo de ensino, o conhecimento obtido pelo discente se torna mera reprodução do exposto pelo docente, gerando reações estereotipadas e automatizadas, que se aplicam, geralmente, a apenas situações idênticas às quais foram geradas, denominadas de hábito (MIZUKAMI, 1986). Libâneo (1994) argumenta que “a unidade de ensino e aprendizagem fica comprometida quando o ensino se caracteriza pela memorização”, conjuntura observada no modelo tradicional. Esse argumento é de veras relevante quando se trata do ensino de engenharia, visto que as vivências práticas da profissão se mostram variadas e imprevisíveis, exigindo do profissional a capacidade de

adaptar o conhecimento adquirido ao novo desafio, elaborando soluções para a situação, capacidade esta cerceada pela defasagem do processo de ensino-aprendizagem.

É necessário que o docente interrompa essa verticalização e estimule no aluno uma postura mais ativa no processo, transformando-o em não mais uma tábua em branco sendo gravada, mas sim no próprio responsável pela impressão do conhecimento. Segundo Piaget (1974), “o que se deseja é que o mestre deixe de ser apenas um conferencista e estimule a pesquisa e esforço em lugar de contentar-se em transmitir os problemas já solucionados” (apud SOUZA). Essa abordagem é muito mais pertinente no que tange à engenharia, visto que irá desenvolver nos discentes as habilidades necessárias ao desempenho de sua função.

Sobre a obra de Piaget, BECKER (2014) traz que “Abstração empírica (*empirique*) consiste em retirar qualidades dos objetos, ou das ações em suas características materiais, isto é, daquilo que pode ser observado”. Com base nisso e buscando transformar a atual metodologia de ensino, surge como opção o desenvolvimento de modelos físicos, que auxiliarão o professor neste processo. Os protótipos são capazes de propiciar aos alunos uma experiência visual e tátil, exigindo que estes realizem a técnica de abstração citada acima. Este representa mais um momento em que são desenvolvidas competências essenciais ao engenheiro, visto que é primordial a capacidade de compreender o comportamento de uma estrutura para a concepção de soluções práticas, eficientes e econômicas para os problemas encontrados no dia a dia profissional.

#### 4 O MODELO

Para a confecção do protótipo foi pensada a utilização da tecnologia de modelagem e impressão 3D. Devido à rigidez das peças obtidas através dessa tecnologia, foi concebido um modelo de viga contínua, construído em seções transversais. Dessa forma, é possível simular a deformação da estrutura e o processo de abertura de fissuras através da movimentação relativa entre as seções. Para tanto, buscou-se o auxílio do Professor Doutor Cléber Dias, que desenvolve pesquisa empregando esta metodologia e é possuidor de uma máquina de impressão 3D.

Os seguintes materiais e softwares foram utilizados na construção do protótipo:

- a) Impressora 3D modelo Sethi3D BB
- b) Filamento PLA 1,75mm de cor azul sólido
- c) AutoCAD 2015
- d) Software de impressão Repetier
- e) Elástico
- f) Presilha
- g) Cabo elástico

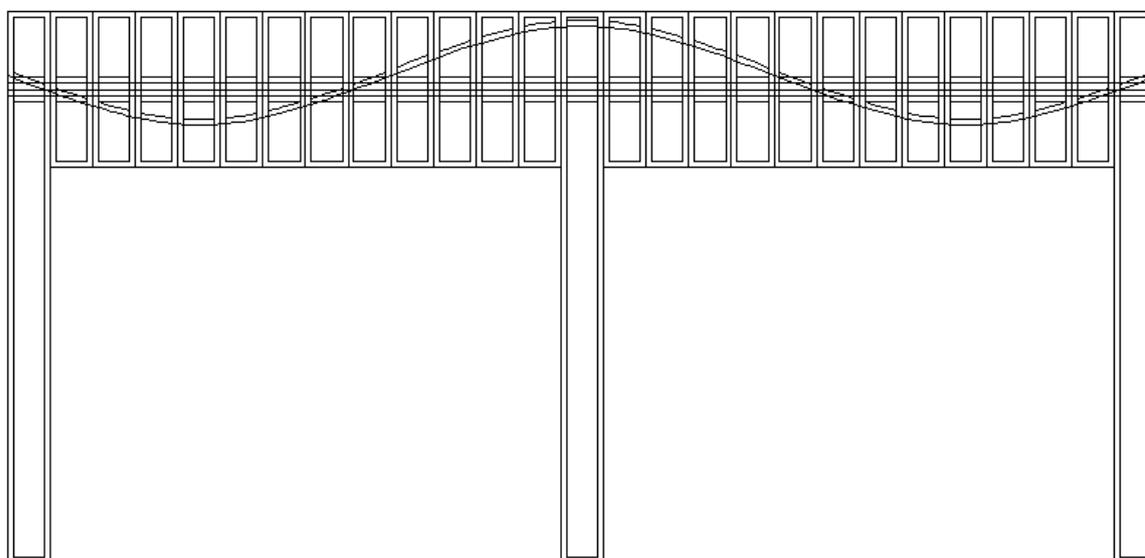
No site da fabricante da máquina de impressão 3D é possível realizar a compra do filamento adequado ao modelo utilizado, garantindo assim que não haverá incompatibilidade no momento da impressão. O filamento PLA é um termoplástico biodegradável derivado de fontes renováveis como amido de milho, raízes de mandioca e de cana. Esse tipo de filamento é um

bom material para se trabalhar, pois apresenta uma ótima qualidade superficial, permitindo desenvolver peças com bom nível de detalhe e acabamento sem necessidade de pós processamento.

No AutoCAD 2015 foram modeladas as peças que seriam submetidas à impressão. Para o corpo da peça, foi utilizado o comando EXTRUDE para gerar sólidos tridimensionais a partir de figuras planas e o comando SUBTRACT para realizar a subtração entre dois sólidos. Esse segundo comando foi útil para desenvolver uma peça em forma de “casca”, oca no interior, permitindo dessa forma a economia de recursos e a confecção de um modelo mais leve, além de ser utilizado para a realização dos canais vazados que fazem a função da bainha para o cabo de protensão e a passagem para o elástico de união entre as peças. Como numa viga contínua o diagrama de momentos fletores tem trechos positivos e negativos, uma forma econômica de se projetar é fazer o traçado dos cabos de protensão acompanharem essa variação, atuando nos trechos em que o elemento estará submetido a esforços de tração, o que foi ponderado no processo de confecção do modelo, como mostrado na figura 2.

Foi projetado um modelo de pórtico com 2 vãos, sendo composto por 3 pilares e 24 peças de seções da viga. Os pilares têm seção transversal 1,5x4cm e altura de 19,5cm, da base ao topo. A viga tem seção transversal de 4x5,5cm e foi dividida em peças de espessura igual a 1,5cm, resultando em vãos teóricos de 19,5 cm, distância medida entre os eixos dos pilares.

Figura 2 - Projeto em 3D de protótipo com traçado do cabo curvo



Fonte: Autor

Após realizada a impressão, as peças foram dispostas em ordem com o auxílio do elástico, fixado nas pontas pelas presilhas. Feito isso, foi posicionado o cabo elástico que faz o papel de cabo de protensão, responsável por permitir a demonstração do comportamento da estrutura.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo desenvolvido com modelagem e impressão 3D apresentou acabamento primoroso, devido à precisão do método. Esse aspecto o torna um modelo agradável esteticamente, característica deveras importante, visto que o objetivo do uso do modelo é proporcionar uma experiência visual do comportamento das estruturas, sendo a estética um diferencial.

Foi possível visualizar, através do movimento relativo entre as peças do protótipo, um comportamento que, de maneira empírica, representa a deformação da estrutura ao ser submetida a um carregamento vertical, como demonstrado na figura 3. Pôde-se observar também a redução da deformação e até uma elevação das seções, em uma espécie de “contra-flecha”, no momento do tensionamento do cabo elástico que representa a armadura ativa, exposto na figura 4, demonstrando de maneira satisfatória o efeito da protensão na estrutura, em comparação à estrutura sem esse esforço.

Figura 3- Modelo representando estrutura deformada



Fonte: Autor

Figura 4- Demonstração de estrutura sob protensão



Fonte: Autor

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino das escolas de engenharia ainda precisa passar por muitas mudanças para alcançar resultados satisfatórios na preparação dos profissionais por elas formados. É papel dos docentes buscarem se aperfeiçoar nas técnicas de didática, além de instigar nos alunos a vontade de assumirem um papel ativo no processo de ensino-aprendizagem. Dessa forma, poderá ser estabelecida a didiscência, termo cunhado por Paulo Freire, descrito por SALDANHA (2017) como “o compartilhamento de experiências individuais e sociais entre o docente e o discente para a apreensão de saberes, na busca de conhecimentos históricos, políticos, culturais e sociais que avultem a consciência e a responsabilidade de todos perante a vida”.

Esse aperfeiçoamento se dá através da análise das demandas dos discentes, do aprofundamento conceitual e da aplicação de novos métodos. Os modelos físicos se apresentam, pois, como uma excelente ferramenta para ser utilizada na cadeia de estruturas, visando acrescentar às noções conceituais uma demonstração prática do comportamento de elementos estruturais. Este método estimula os alunos a se dedicarem ao conteúdo abordado em sala de aula, buscando o aprofundamento na matéria, devido ao interesse gerado pela experiência diferente, que foge do padrão tradicional de ensino.

A pesquisa que gerou o presente trabalho ainda se encontra em desenvolvimento, sendo ainda previstas melhorias no modelo físico, como a impressão de uma base, que faz a função das fundações, e a aplicação do protótipo em turmas de universidades de Salvador. Essa aplicação tem por objetivo avaliar o desempenho do modelo quanto ao seu objetivo, de auxiliar o desenvolvimento da aprendizagem de conteúdos referentes a disciplinas de concreto protendido, e tem como estimativa de amostragem 120 alunos. Serão confeccionados questionários para obtenção de dados que permitam realizar as avaliações em questão. Outro ponto que será demonstrado nessas apresentações é o efeito hiperestático de protensão, que gera o surgimento de momentos fletores nas fundações e esforços normais nos pilares centrais, tópico não abordado neste trabalho por estar presente nas próximas fases da pesquisa.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Professor Doutor Cléber Marcos Ribeiro Dias, por, voluntariamente, ceder seu tempo e equipamento para a confecção do protótipo, sem os quais esta não seria possível.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Concreto Protendido – Notas de Aula**, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018. Disponível em: <http://www.pbastospb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2018.

BECKER, Fernando. Abstração pseudo-empírica e reflexionante: Significado epistemológico e educacional. **Schème - Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas**, São Paulo, v.6, p. 104-128, 2014.

FERNÁNDEZ, Fátima Addine et al.. **Didáctica y optimización del proceso de enseñanza-aprendizaje.** La Habana: 1998. Disponível em: <https://pt.calameo.com/books/0002331685a3073245309>. Acesso em: 20 abr. 2018.

LIBÂNIO, José Carlos. **Didática.** São Paulo: Cortez, 1994.

MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. **Ensino,** as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 1986.

PFEIL, W. (1988). **Concreto protendido.** 2.edição. v.1. Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.

SALDANHA, Maria Helena Moutinho. **AUTOPOIESE e DODISCÊNCIA: Relações necessárias para a cidadania na escola?.** 2017. 91 f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SOUZA, Geifferson Benício de. **Professor mediador da aprendizagem por meio da comunicação dialógica.** Disponível em: <https://www.fara.edu.br/sipe/index.php/anuario/article/download/41/29>. Acesso em: 24 abr. 2018

## **CONSTRUCTION OF REDUCED PHYSICAL MODEL FOR DEMONSTRATION OF THE PRESTRESSED CONCRET HYPERSTATIC PORTICO BEHAVIOR**

**Abstract:** *This article intends to approach the current situation of engineering teaching and develop a method to improve the teaching-learning process in the University. This methodology consists in the construction of a reduced physical model to be used in the classroom, as a demonstration of the prestressed concrete hyperstatic portico behavior. The prototype provides the teacher a tool able to present the students in a clear way, in a visual and tactical experience, the concepts addressed in class, awakening their interest about the discipline and developing primordial abilities for the experience of the profession. The usage of reduced models appears then as an alternative way of demonstrating engineering concepts, an efficient and didactic method that can be used for different subjects of the structure chain. All of the confection process, materials, softwares and equipments needed will be addressed in the article, making it possible to be reproduced for the elaboration of different structural systems.*

**Key-words:** *Physical model, Teaching, Didactic, Prestressed concrete.*