

## ENSINO E APRENDIZAGEM DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS E TECNOLÓGICOS E RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS

*Primeiro Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço \**

*CEP – Cidade – Estado\**

*Segundo Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço\**

*CEP – Cidade – Estado\**

*Terceiro Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço\**

*CEP – Cidade – Estado\**

**Resumo:** A interação entre arquitetura e estrutura é imprescindível para a qualidade do projeto, abrangendo quesitos estéticos e de funcionalidade. Existe hoje uma tendência de oferecer apartamentos que possibilitem maior liberdade para a disposição dos ambientes, tornando fundamental um lançamento de projeto com os elementos estruturais embutidos em paredes. Paralelamente, destacam-se os critérios e recomendações para lançamento e dimensionamento dos elementos estruturais aplicados em projetos de arquitetura e urbanismo. Observa-se que o lançamento e o pré-dimensionamento de estruturas impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto urbanístico-arquitetônico. Pode-se afirmar que a escolha dos materiais que compõem as estruturas das edificações é imprescindível, bem como a decisão de quanto exigir da resistência, desempenho e durabilidade destes materiais e a avaliação dos resultados no projeto. A partir destas considerações, esta proposta de trabalho tem como objetivo principal avaliar as alturas de vigas em madeira, concreto e aço e a relação destas alturas com o espaço edificado. Como método, inicialmente utilizando-se dos critérios e recomendações será realizado lançamento dos elementos estruturais no projeto arquitetônico, posteriormente, serão pré-dimensionadas as vigas lançadas no projeto. Nas análises dos resultados deste estudo, será feita avaliação das dimensões dos elementos estruturais, em função da escolha do sistema estrutural, seus ganhos no projeto arquitetônico, com avaliação da área construída que a edificação irá ganhar com a redução dos elementos construtivos, o ganho de pé direito de uma edificação.

**Palavras-chave:** Ensino-aprendizagem. Estruturas. Projeto arquitetônico.

## 1 INTRODUÇÃO

A interação entre arquitetura e estrutura é imprescindível para a qualidade do projeto, abrangendo quesitos estéticos e de funcionalidade. Arquitetura e estrutura interagem entre si. De acordo com Salvadori (2011), pode haver estrutura sem arquitetura, como em qualquer máquina, mas não existe arquitetura sem estrutura. Pode haver estética sem arquitetura, como em qualquer pintura, mas não existe arquitetura sem estética.

Segundo Rebello (2010), seria sempre desejável que o arquiteto, ao projetar a arquitetura, estivesse preocupado com a estrutura, de modo que estrutura e arquitetura se integrassem, sem que uma prejudicasse a outra. Infelizmente isso nem sempre ocorre, fazendo com que, muitas vezes, a estrutura tenha que se adaptar de maneira forçada ao projeto arquitetônico. Ou, ainda, que este tenha que ceder às necessidades da estrutura, prejudicando sua estética ou funcionalidade, sofrendo, em situações extremas, modificações profundas.

Estudos e pesquisas de materiais e tecnologias a partir do estudo das estruturas e voltados à arquitetura, são desenvolvidos levando em conta o espaço edificado. Existe hoje uma tendência de oferecer apartamentos que possibilitem maior liberdade para a disposição dos ambientes, tornando fundamental um lançamento de projeto com os elementos estruturais embutidos em paredes. Observa-se que o lançamento e o pré-dimensionamento de estruturas impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto urbanístico-arquitetônico.

Projetar uma estrutura consiste em conceber um sistema onde os componentes com finalidade resistente se combinem, de forma ordenada, para cumprir uma determinada função. Para a estrutura tenha resistência assegurada é necessário conhecer o comportamento das peças na estrutura. Esses elementos devem ser classificados em conjuntos que tenham comportamento estrutural similar, usualmente essas peças são classificadas através de critérios geométricos, dividindo-os em três grupos: blocos (onde as três dimensões são da mesma ordem de grandeza), peças laminares (em que duas das medidas das peças têm uma grandeza igual entre elas e maior em relação à terceira) e por fim as barras (com dois comprimentos de mesma ordem de grandeza e a terceira com grandeza menor que essas duas), e é nessa última onde as vigas são classificadas (CLÍMACO, 2013).

De acordo com Barros, A., Barros, M. e Ferreira (2011) o *design* de uma viga tem uma infinidade de possibilidades viáveis, a qual permanece somente a carga das diretrizes gerais e a própria experiência do profissional para a escolha mais econômica. Considerando esse cenário, pode-se afirmar que a escolha dos materiais que compõem as estruturas das edificações é imprescindível, bem como a decisão de quanto exigir da resistência, desempenho e durabilidade destes materiais e a avaliação dos resultados no projeto.

Diante disto, faz-se necessária uma avaliação das dimensões dos elementos estruturais e de suas interferências no projeto arquitetônico, como o aumento ou redução da área construída e do pé direito de uma edificação, por exemplo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Concreto armado

As civilizações antigas utilizavam pedras para construir suas edificações, o qual é um material resistente à compressão, mas não a tração, limitando assim suas estruturas. Quando o homem descobriu o concreto (que é uma pedra artificial) ele continuava se deparando com o

mesmo problema, desta forma, foi adicionado o aço como material para suprir a necessidade da tração, desta maneira surgiu o concreto armado (BOTELHO; MARCHETTI, 2013).

O concreto tem como principal característica a sua capacidade de resistir a esforços de compressão. No Brasil, a resistência à compressão do concreto é medida pela utilização do método do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, regulado pela NBR 5739:1994.

O processo de obtenção do valor da resistência à tração do concreto é análogo ao processo do valor da resistência a tração, porém é realizado por meio do ensaio de tração direta, regulado pela NBR 7222:2011. Os valores de tração do concreto são mínimos se comparados aos valores de tração do aço.

Em média, o concreto resiste à compressão cerca de dez vezes mais que a tração. Porém, estruturas geram não somente esforços de compressão e sim uma ação conjunta de ação e compressão em áreas diferentes para cada elemento. Uma viga simplesmente biapoiada, por exemplo, possui maiores esforços de compressão em sua parte superior, enquanto que em sua parte inferior o esforço predominante é a tração (CARVALHO, 2011).

Dessa forma, a utilização do concreto em conjunto com o aço resulta em um material resistente às mais diversas solicitações e é denominado concreto armado.

## 2.2 Aço

O primeiro material siderúrgico empregado na construção foi o ferro fundido. O aço já era conhecido desde a antiguidade, mas não estava disponível a preços competitivos. Até meados do século XX utilizou-se nas construções quase que exclusivamente o aço carbono (PFEIL, 2014). No final do último século, a posição de liderança na construção de edifícios altos e de mérito arquitetônico foi assumida por Nova York. No Brasil, foi na década de 20 que se deu início o desenvolvimento da indústria siderúrgica. E, a partir dessa época, foram surgindo em todo o país um grande número de fabricantes, projetistas, desenhistas e outros profissionais do ramo (BELLEI, 2008).

O aço é um dos mais importantes materiais para uso em estruturas, seja isolado ou trabalhando em conjunto com outros materiais, como o concreto e a madeira. As propriedades mais importantes são a sua alta resistência mecânica e a sua ductilidade, que lhe confere a capacidade de se deformar antes da ruptura. Fatores como corrosão e resistência ao fogo são controlados com adição de elementos como cobre, níquel, manganês, silício, titânio, etc., ao aço carbono. Dependendo do local e utilidade da obra pode ser necessário proteção extra (BELLEI, 2008).

As vigas em aço são comumente aplicadas em perfis I ou H (laminados ou soldados) e têm por finalidade suportar cargas normais ao seu eixo longitudinal (BELLEI, 2008).

## 2.3 Madeira

O uso da madeira em estruturas exige a escolha de tipo de madeira de resistência mecânica e resistência à deterioração adequadas. Para ser transformada em bitolas comerciais, com dimensões padronizadas, a madeira precisa ser beneficiada em serrarias. Os detalhes de emendas e de ligações entre as peças exigem habilidade. A madeira como material estrutural exige cuidados para obtenção e aplicação. E a falta desses cuidados, como por exemplo evitar frestas e evitar variação do nível da água quando submersa, pode interferir na qualidade da madeira, do meio ambiente e do elemento estrutural (REBELLO, 2010).

As vigas em madeira podem ser de seção I, formada por composição de peças, ou retangular. Para grandes dimensões podem ser aplicadas vigas laminadas obtidas pela colagem de laminas de madeira (REBELLO, 2003).

## 2.4 Solicitações em vigas

As vigas desenvolvem momentos fletores e força cortante, os quais, geralmente, variam ao longo de seu comprimento. O valor da flexão é calculado através da soma dos momentos em torno da extremidade selecionada do segmento enquanto a força cortante é obtida através do somatório das forças perpendiculares ao eixo da viga (HIBBELER, 2013).

Beer e Johnston (2012) concluíram que se há uma superfície em uma barra com deformação e tensões negativas (compressão) e outra com deformação e tensões positivas (tração) deve haver uma plano paralelo à face superior e inferior onde às tensões e deformações são nulas. Essa superfície é chamada de superfície neutra.

## 2.5 Vigas

As estruturas são responsáveis pela integridade, estabilidade e segurança nas edificações, podemos conceituá-las como um conjunto capaz de receber, absorver e transmitir aos seus apoios ou vínculos solicitações externas, onde as mesmas encontram um sistema de forças externas equilibrantes (ALMEIDA, 2009).

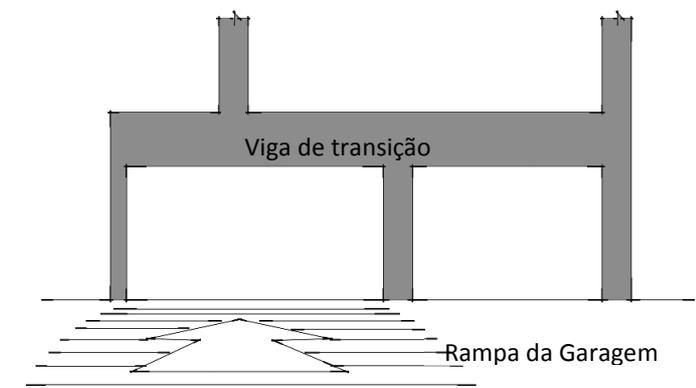
Para a obtenção do modelo estrutural mais adequado para o projeto arquitetônico em que se baseia, são considerados os múltiplos lançamentos dos elementos estruturais até a obtenção do modelo final. Dessa maneira, são posicionados no projeto arquitetônico os elementos estruturais: lajes, vigas, pilares.

Segundo Leet (2009), vigas são elementos extremamente comuns encontrados em estruturas. São as vigas que desempenham o papel de suportar as lajes (ADÃO; HEMERLY, 2010). As vigas são elementos submetidos, sobretudo a esforços de flexão quando solicitadas por carregamento transversal. Para se conseguir um aumento da resistência o projetista pode optar, por exemplo, por aumentar sua seção transversal (altura) e/ou a resistência do material.

Além de suportar as cargas provenientes das lajes, as vigas podem ser úteis para a divisão de uma grande laje, para receber um pilar que nasça, para apoio de outras vigas e, para garantir maior estabilidade global de uma edificação em função de pórticos criados no momento do lançamento.

Vigas de transição (Figura 1) são peças com grande solicitação à flexão e ao cisalhamento, portanto são peças de grande dimensão (tanto largura quanto altura), podendo inclusive implicar em um de pé-direito maior para a sua execução, devendo estar previsto no projeto arquitetônico.

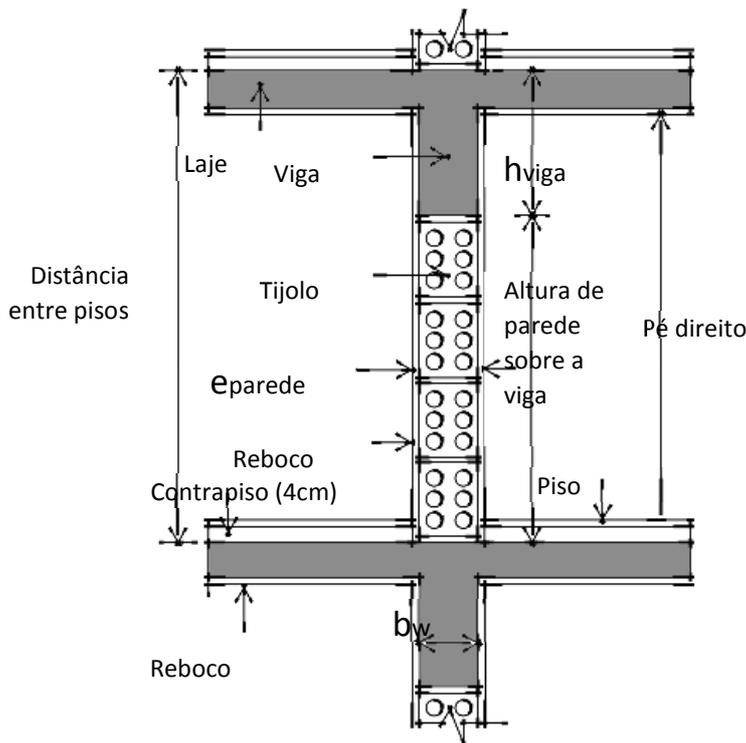
Figura 1 – Viga de transição em garagem.



Sempre que possível, procura-se definir a largura da viga ( $b_w$ ) de modo que ela fique embutida na parede e não seja visível (ver Figura 2). Assim, tem-se a largura "bw" descontando as espessuras dos revestimentos, da ordem de 1,5cm, da espessura da parede acabada "eparede" ( $b_w = \text{eparede} - 3\text{cm}$ ).

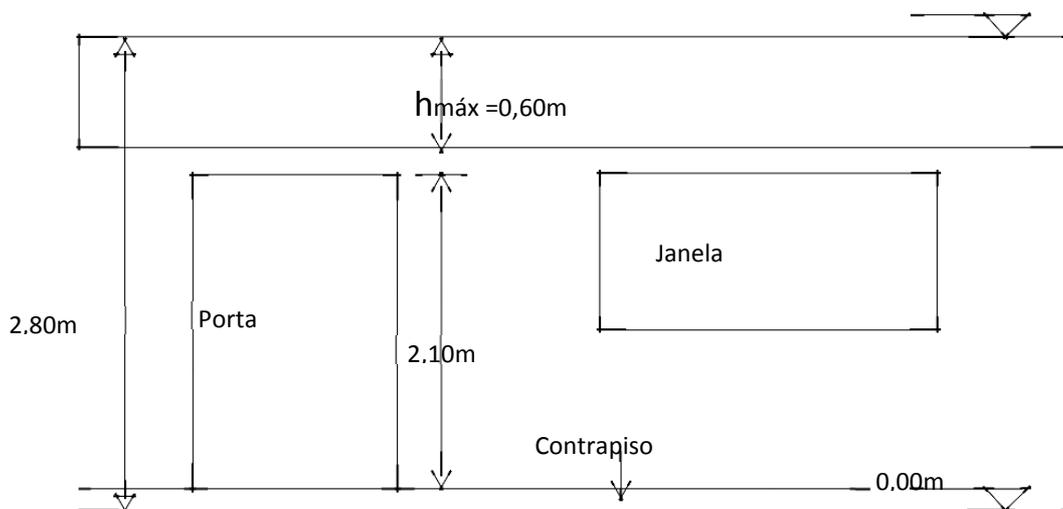
Costumam-se adotar alturas de seção múltiplas de 5 cm, com um mínimo de 25 cm. Tal critério de altura mínima induz a utilização de vãos maiores ou iguais a 2,5 m.

Figura 2 – Detalhe da viga embutida na parede.



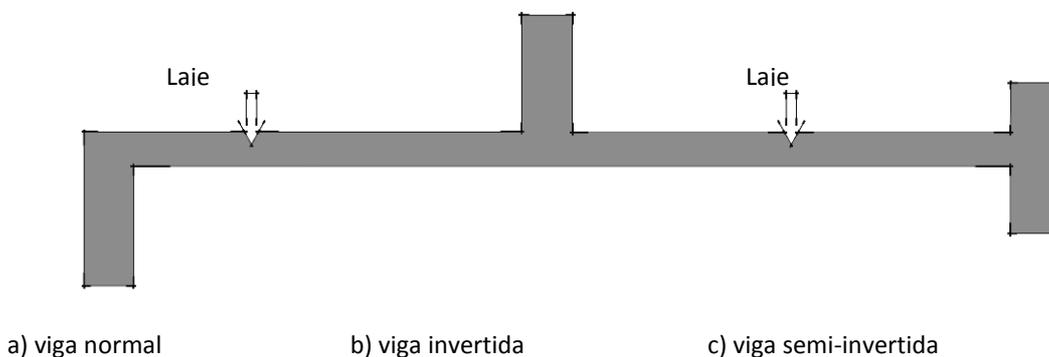
Em geral, não devem ser utilizados vãos superiores a 6m, face aos valores usuais de distância de piso a piso (em torno de 2,8m) que permitem espaço disponível para a altura da viga em torno de 60cm (ver Figura 3), de forma a possibilitar a altura da porta de 2,1m, considerando ainda uma folga para a colocação do contramarco e contrapiso ( $h_{vig} < 280 - 210 - 10 = 60\text{cm}$ ). Deve-se ter atenção com relação às vigas do perímetro, pois às vezes a altura das janelas é superior a 210cm, o que diminui a altura máxima permitida.

Figura 3 – Detalhe do cálculo da altura máxima para a viga.



Com relação à posição da viga em relação à laje, elas podem ser normais ou invertidas, conforme a posição da sua alma em relação à laje (ver Figura 4). Quando se opta pela solução de viga invertida, devem-se utilizar os estribos também como armadura de suspensão das cargas provenientes das lajes.

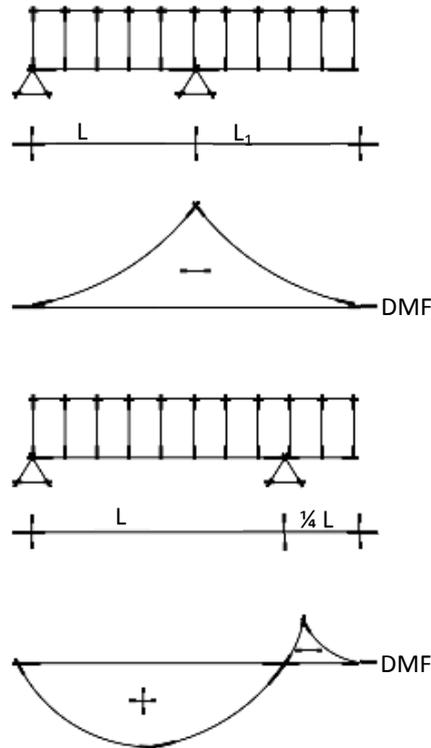
Figura 4 – Seção transversal das vigas.



No entanto, nem sempre é possível inverter a altura da viga. O projetista deve estar ciente de que grandes vigas podem exigir uma distância de piso a piso maior que o valor usual.

O balanço de vigas em edificações convencionais pode proporcionar uma melhor distribuição dos momentos fletores, contanto que o comprimento do balanço  $L_1$  fique em torno de  $0,25 L$  (sendo  $L$  o comprimento do trecho biapoado), conforme Figura 5.

Figura 5 – Relação dos comprimentos dos trechos e o reflexo no diagrama de momento fletor.



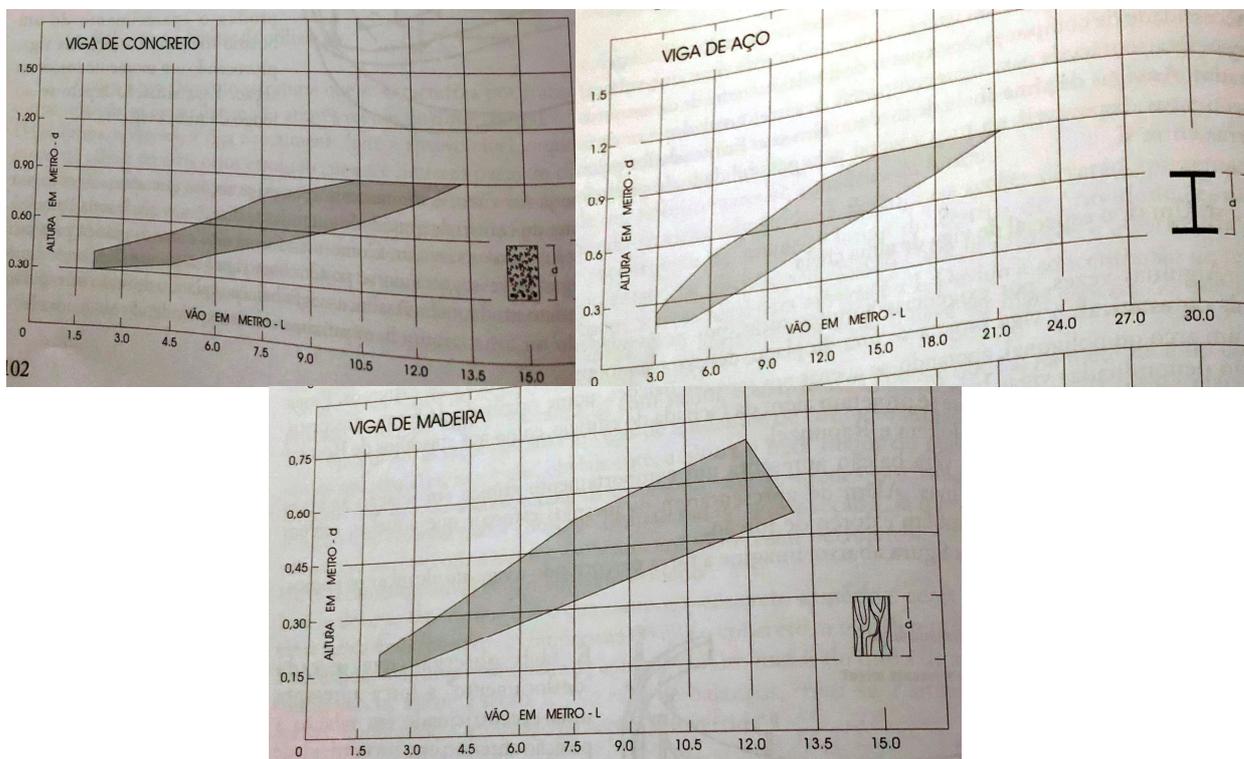
### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Pré-dimensionamento de vigas

Após o lançamento da estrutura, procede-se para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais. Segundo Rebello (2010), através do pré-dimensionamento dos elementos é possível ter-se noção das dimensões e do seu relacionamento com os espaços do projeto arquitetônico.

Abaixo, na Figura 6, apresentam-se valores de vãos mínimos e máximos recomendados e um pré-dimensionamento da altura de diferentes soluções de vigas bi apoiadas e com carregamento convencional.

Figura 6 – Pré-dimensionamento de vigas em aço, madeira e concreto.



Fonte: REBELLO (2010).

Foram simuladas vigas em concreto, aço e madeira, com vãos de 3, 6 e 9 metros. A partir dos referenciais teóricos pela figura 1 e através de percentagens usuais de projeto (10% do vão para estruturas em concreto armado e 5% do vão para estruturas em aço), essas vigas foram pré-dimensionadas para obtenção das alturas.

Os resultados dos pré-dimensionamentos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das alturas de vigas.

Vão	Altura das vigas		
	Concreto	Aço	Madeira
3 metros	30 cm (30 a 50)	20 cm (20 a 25)	20 cm (20 a 25)
6 metros	60 cm (45 a 70)	30 cm (25 a 50)	30 cm (25 a 45)
9 metros	90 cm (55 a 90)	40 cm (40 a 70)	40 cm (40 a 55)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de sistemas estruturais nos cursos de Arquitetura e Urbanismo é imprescindível para a qualidade do projeto, abrangendo quesitos estéticos e de funcionalidade, bem como a interação entre arquitetura e estrutura. Todo o processo engloba a escolha dos materiais adequados e tentativas para a melhor solução para o espaço edificado. E o emprego das tecnologias e dos sistemas construtivos exige que os profissionais envolvidos tenham o domínio de suas potencialidades e recursos.

O lançamento e o pré-dimensionamento de elementos estruturais impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto arquitetônico. A avaliação das dimensões dos elementos estruturais, em função da escolha do sistema estrutural, seus ganhos no projeto arquitetônico, com avaliação da área construída que a edificação irá ganhar com a redução dos elementos construtivos, o ganho de pé direito de uma edificação determinam a qualidade do projeto e o maior conforto do usuário da edificação.

Com isso, os estudos da aplicação dos conceitos de estruturas na concepção dos projetos arquitetônicos tornam-se fundamentais para o entendimento qualitativo. As reflexões a partir dos resultados obtidos pelo pré-dimensionamento de vigas em madeira, concreto e aço na concepção dos projetos arquitetônicos, permitem aos alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo a escolha do sistema mais adequado para o projeto.

## REFERÊNCIAS

ADÃO, F.; HEMERLY, A. C. **Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

ALMEIDA, M. C. F. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222:2011**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739:2007**: Ensaio de compressão e corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

BARROS, M.H.F.M.; MARTINS, R.A.F.; BARROS, A. F. M.. Cost optimization of singly and doubly reinforced concrete beams with EC2-2001. **StructMultidiscOptim**. [S.l.], v. 30, n. 3, p. 236-242, set. 2005. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez74.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs00158-005-0516-2>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON, Elwood Russell. **Resistencia dos materiais**. 3. ed.. São Paulo: Pearson, 2012.

BELLEI, Ildony H. Edifícios de Múltiplos Andares em Aço. 2º.ed.PINI São Paulo, 2008

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. 7.ed.. São Paulo: Blucher, 2013.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** segundo NBR 6118:2003. 3.ed.. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

CLÍMATICO, Joao Carlos Teatini de Souza. **Estrutura de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificações**. 2.ed..Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

HIBBELER, R. C.. **Resistência dos materiais**. 7.ed.. São Paulo: Pearson, 2013.

LEET, Kenneth, **Fundamentos da análise estrutural**. São Paulo, SP: Editora McGraw-Hill, 2009.

PFEIL, Walter, **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014

REBELLO, Y.C.P. Analogias entre sistemas estruturais da natureza e das edificações . In: A concepção estrutural e a arquitetura, São Paulo: Ed. Zigurate, 2010. 6ª edição. p.199-227.

REBELLO, Y.C.P. A concepção Estrutural e a Arquitetura. São Paulo: Ed. Zigurate. 3ª edição. 2003.

SALVADORI, Mario. Por que os edifícios ficam de pé. ed. Blumenau: Edifurb, 2011. 113 p, il.

## TEACHING AND LEARNING OF PRE-DIMENSIONING OF BEAMS IN STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS AND RECOMMENDATIONS FOR ARCHITECTURAL PROJECTS

**Abstract:** The interaction between architecture and structure is essential for the quality of the project, encompassing aesthetic and functional requirements. There is a tendency today to offer apartments that allow greater freedom for the layout of the surroundings, making a project launch with the structural elements embedded in walls essential. At the same time, the criteria and recommendations for launching and dimensioning the structural elements applied in architecture and urban planning projects stand out. It is observed that the launch and pre-dimensioning of structures directly impact the knowledge of the space occupied by the structural elements in the urban-architectural project. It can be affirmed that the choice of the materials that compose the structures of the buildings is indispensable, as well as the decision of what it demands of the resistance, performance and durability of these materials and the evaluation of the results in the project. From these considerations, this work proposal has as main objective to evaluate the heights of beams in wood, concrete and steel and the relation of these heights with the constructed space. As a method, initially using the criteria and recommendations will be made launch of the structural elements in the architectural design, then the beams launched in the project will be pre-dimensioned. In the analysis of the results of this study, it will be made an evaluation of the dimensions of the structural elements, according to the choice of the structural system, its gains in the architectural design, with evaluation of the built area that the building will gain by reducing the constructive elements, right foot of a building.

**Key-words:** *Teaching-learning. Structures. Architectural project.*