

ENSINO E APRENDIZAGEM DE ESTRUTURAS E CONCEPÇÃO EM 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: *O ensino de estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo é imprescindível para a formação do arquiteto. Para conceber um projeto e posteriormente a execução da edificação deve-se levar em conta questões como: funcionalidade, estética, materiais disponíveis, transporte, custos e mão de obra. Com isso, deve-se conciliar forma, material e sistema estrutural. O Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas (LAMCO) da Universidade do Vale do Itajaí têm desenvolvido estudos para aprimorar o ensino e a aprendizagem nesse sentido. O objetivo principal deste trabalho é auxiliar aos alunos dos cursos de arquitetura e urbanismo na busca de novas soluções de sistemas estruturais e materiais que suportem maiores cargas, permitam maiores vãos, atendam às questões de conforto e infraestrutura urbana além das interferências no projeto urbanístico arquitetônico. A metodologia envolve estudos e discussões acerca do tema e discorre sobre trabalhos realizados. Como resultados, propõem-se novos materiais e interface entre estruturas e arquitetura.*

Palavras-chave: *Ensino-aprendizagem. Sistemas estruturais e tecnológicos. Projeto arquitetônico.*

1 INTRODUÇÃO

O ensino de estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo é imprescindível para a formação do arquiteto e, no geral, se baseia em disciplinas com cálculos matemáticos e muitas vezes carece de conteúdos integrados e que abordem interferências da arquitetura no projeto estrutural e da estrutura no projeto arquitetônico.

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 (REBELLO, 2010). Pode haver estrutura sem arquitetura, como em qualquer máquina, mas não existe arquitetura sem estrutura (SALVADORI, 2011).

As tecnologias e os *softwares* vêm se tornando importantes para o desenvolvimento das matrizes de rigidez para vigas, placas e elementos de casca que permitem a análise de estruturas complexas rápida e precisamente (LEET, 2009). As novas tecnologias auxiliam nas decisões de projeto, e levam em consideração aspectos técnicos de desempenho, manutenções, consumo de materiais, processos executivos, o que facilita a concepção e a integração entre projetos. (NETO, 2011).

Juntamente às questões de projetos integrados, a exemplo do sistema BIM, a escolha do sistema estrutural e tecnologias construtivas impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto urbanístico-arquitetônico.

O projeto de qualquer estrutura normalmente é executado em etapas alternadas de projeto e análise. Cada etapa fornece novas informações que permitem ao projetista passar para a fase seguinte. O processo continua até que a análise indique que não é mais necessária nenhuma alteração nas dimensões dos elementos estruturais (LEET, 2009).

Faz-se necessária uma avaliação das dimensões dos elementos estruturais, seus ganhos no projeto arquitetônico, avaliação da área construída que a edificação irá ganhar com a redução dos elementos construtivos, o ganho de pé direito, e a redução de cargas na fundação e o consumo de materiais.

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.

O Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas (LAMCO) da Universidade do Vale do Itajaí têm desenvolvido estudos para aprimorar o ensino e a aprendizagem de estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo. Espera-se auxiliar aos alunos na busca de novas soluções de sistemas estruturais e materiais que suportem maiores cargas, permitam maiores vãos, atendam a questões de conforto e infraestrutura urbana além das interferências no projeto urbanístico arquitetônico.

O artigo discorre sobre estruturas, materiais e tecnologias voltados à arquitetura, e os resultados dos elementos estruturais no espaço edificado. São apresentadas questões de funcionalidade, estética, materiais disponíveis, transporte, custos e mão de obra. De acordo com Rebello (2010), é de fundamental importância dominar os princípios básicos do comportamento das estruturas e dos materiais, tornando a solução escolhida consistente e adequada aos quesitos estabelecidos no projeto.

2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A concepção de um projeto é fase anterior ao desenho e aos cálculos. Nessa fase, o projetista toma decisões quanto à funcionalidade, estética, materiais disponíveis, transporte, custos e mão de obra disponível.

A evolução das formas estruturais está diretamente ligada aos materiais disponíveis, à tecnologia da construção, conhecimento do projetista sobre comportamento estrutural e habilidade dos trabalhadores da construção (LEET; UANG; GILBERT, 2009).

Segundo Torroja (1960), a concepção estrutural, enquanto fruto de um processo criativo, necessariamente deve estabelecer a conexão entre processos técnicos e artísticos.

Para Rebello (2010), as construções antigas muitas vezes eram refeitas e as modificações garantiam mais estabilidade estrutural. Hoje, não se precisa fazer, cair e refazer para termos obras como, por exemplo, O Museu do Amanhã de Santiago Calatrava, a Brasília de Oscar Niemeyer, a Casa Butantã de Paulo Mendes da Rocha e outros de excepcional valor.

O ensino atual de estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo precisa de abordagens com relação à forma, à função, à tecnologia da construção, ao conforto, à infraestrutura urbana, ou seja, de exemplos, conteúdos e projetos cada vez mais integrados. 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.

Nesse sentido, as tecnologias e os *softwares* vêm se tornando importantes para o desenvolvimento das matrizes de rigidez para vigas, placas e elementos de casca que permitem a análise de estruturas complexas rápida e precisamente (LEET, 2009). As novas tecnologias auxiliam nas decisões de projeto, e levam em consideração aspectos técnicos de desempenho, manutenções, consumo de materiais, processos executivos, o que facilita a concepção e a integração entre projetos. (NETO, 2011). Juntamente às questões de projetos integrados, a exemplo do sistema BIM, a escolha do sistema estrutural e tecnologias construtivas impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto urbanístico-arquitetônico.

3 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

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. 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.

4 ESTRUTURAS EM AÇO

A estrutura metálica é um sistema pré-fabricado, onde no canteiro ocorre apenas a sua montagem, tornando a obra mais racional. Esse tipo de estrutura exige um canteiro com espaço suficiente para a movimentação das guias, guindastes e um pequeno depósito (REBELLO, 2018).

Devido à corrosão do aço, a norma NBR 6118:2014 dispõe de medidas cautelares sobre o cobrimento mínimo da armadura com a finalidade de evitar a exposição do aço no ambiente e a consequente corrosão.

Para Bellei (2008), 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 necessária proteção extra. 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.

5 ESTRUTURAS EM 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).

6 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

6.1 Lajes

Lajes são elementos estruturais laminares, submetidos a cargas predominantemente normais à sua superfície média, que têm a função de resistir às cargas de utilização atuantes na estrutura (CLÍMACO, 2013). De acordo com Dias (2002), as lajes apresentam as funções de suportar e conduzir para a estrutura as ações verticais decorrentes da carga permanente e da sobrecarga. São cargas atuantes na laje seu peso próprio, contrapiso, revestimentos de pisos, pessoas circulando, móveis e tudo que se possa colocar em um piso, sendo que para efeitos de cálculo, devem ser consideradas todas as cargas sobre as lajes como uniformemente distribuídas (ADÃO; HEMERLY, 2010).

A laje maciça é uma placa de concreto e seu plano normalmente é horizontal. Pode apresentar pequenas inclinações quando em coberturas, por exemplo. (REBELLO, 2018). As Lajes maciças podem ser convencionais, ou seja, apoiadas em vigas no seu entorno, ou apoiadas diretamente sobre os pilares: laje cogumelo.

Para Clímaco (2013) as lajes são classificadas de acordo com a natureza de seus apoios:

- Lajes apoiadas sobre vigas: sustentadas por vigas nas extremidades, comumente executadas em um único processo de moldagem.
- Lajes nervuradas: podem ser moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, sendo que com nervuras pré-moldadas uma capa de concreto é moldada que apresenta a função de trabalhar à compressão e a resistência da tração é fornecida pelas nervuras.
- Lajes lisas e cogumelo: apoiadas diretamente nos componentes estruturais pilares. Caso haja alargamento na transição laje-pilar são denominadas lajes-cogumelos, caso contrário, são denominadas lajes lisas.

Quando os vãos da laje maciça convencional começam a crescer muito, elas tornam-se antieconômicas, necessitam de grandes espessuras, a quantidade de material tracionado e desnecessário torna-se expressiva. A laje nervurada torna-se interessante, podendo eliminar (na fase de concepção de projeto) grande quantidade de concreto mantendo a capacidade resistente da seção. Retirado o concreto em excesso, a seção resultante é composta de uma

placa superior mais fina sob a qual há uma série de pequenas vigas: as nervuras (REBELLO, 2018). Para o autor, o emprego de lajes nervuradas é comum em edifícios de comerciais e de serviços, onde quase não há pilares “no meio” dos espaços. A laje nervurada permite vãos superiores (acima de 7 metros) aos vãos da laje maciça convencional (até 6 metros). Ainda, essas lajes podem ser armadas ou protendidas, que resultam em vãos superiores aos vãos da laje nervurada em concreto armado.

6.2 Vigas

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. São as vigas que segundo Adão e Hemerly (2010) desempenham o papel de suportar as lajes. 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.

Em vigas, ocorrem geralmente dois esforços: o momento fletor e o momento cortante. Para projetar uma viga, o engenheiro deve construir os diagramas de cortante e momento para determinar o local e a magnitude dos valores máximos dessas solicitações (LEET; UANG; GILBERT, 2009). As vigas desenvolvem momentos fletores, o qual, geralmente, varia ao longo de seu comprimento. Ele é calculado através da soma dos momentos em torno da extremidade selecionada do segmento (HIBBELER, 2013).

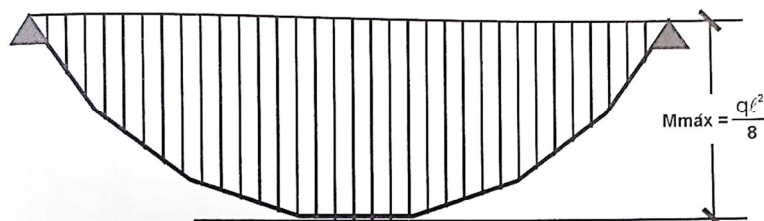
Nas Figuras 1 e 2 é possível visualizar exemplos de diagramas de força cortante e momento.

Figura 1 – Exemplo de diagrama de esforço cortante.



Fonte: Adão; Hemerly, 2010

Figura 2 – Exemplo de diagrama de momento fletor.



Fonte: Adão; Hemerly, 2010

Convém lembrar que é conveniente projetar vigas e lajes em balanço com um trecho interno biapoiado. Balanços de vigas engastadas em outras vigas geram esforço de torção elevado na viga de apoio, aumentando consideravelmente as tensões tangenciais e, conseqüentemente, a quantidade de estribos e/ou a largura da peça (Ver Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Exemplo de engastes que geram esforços de cisalhamento elevado.

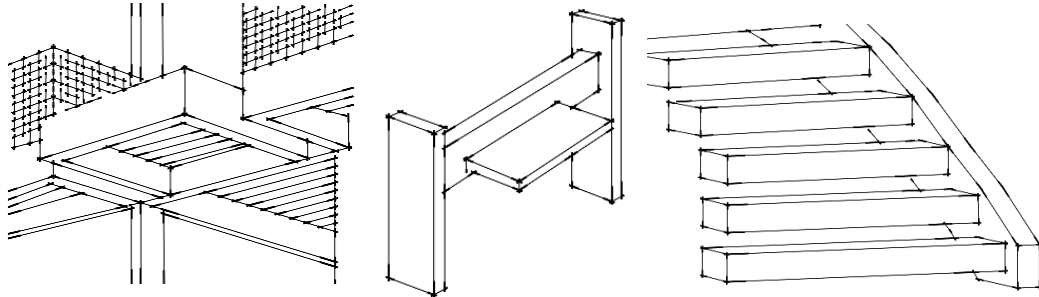
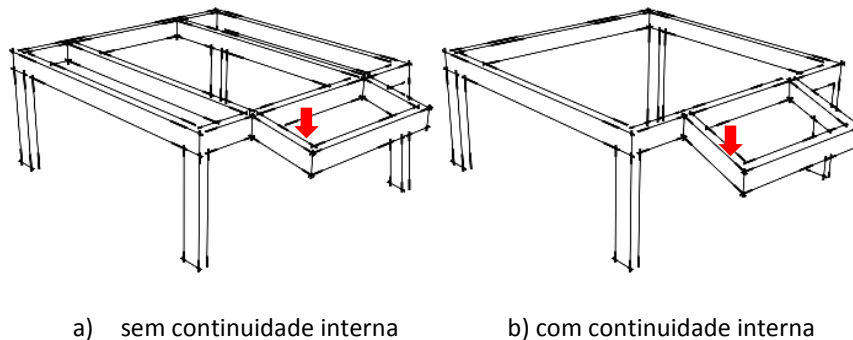


Figura 4 – Comparativo de deformações entre duas concepções de balanço.

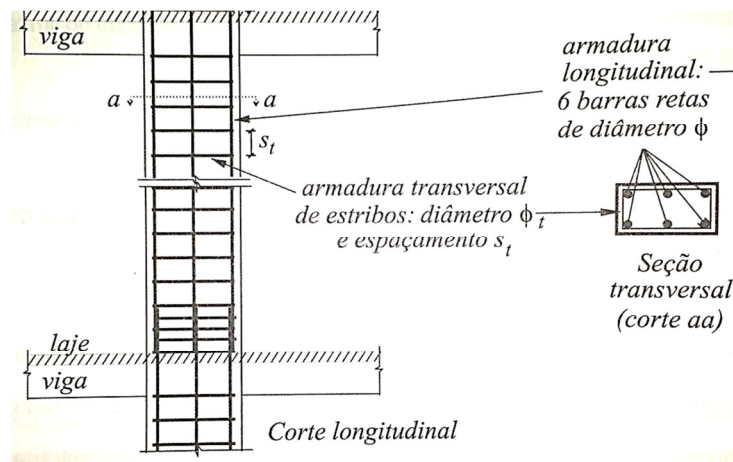


6.3 Pilares

Pilares são elementos lineares de eixo reto, em que as forças normais de compressão são preponderantes e que tem a função de transmitir às fundações as ações atuantes na estrutura (CLÍMACO, 2013). De acordo com Carvalho e Pinheiro (2013) um pilar é definido como sendo um elemento estrutural geralmente vertical em que as ações recebidas são predominantemente verticais.

Nos pilares de concreto armado, as armaduras são dispostas nas direções longitudinal e transversal ao seu eixo, com diferentes finalidades (CLÍMACO, 2013). As armaduras longitudinal e transversal são ilustradas na Figura 5.

Figura 5 – Disposição das armaduras em pilares.



Fonte: Clímaco, 2013

O lançamento de pilares recuados em relação à extremidade da edificação gera vigas com um trecho em balanço e outro interno proporcionando melhor distribuição dos esforços de flexão, como mostrado nos diagramas representados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Pilar na extremidade – diagrama de momento fletor.

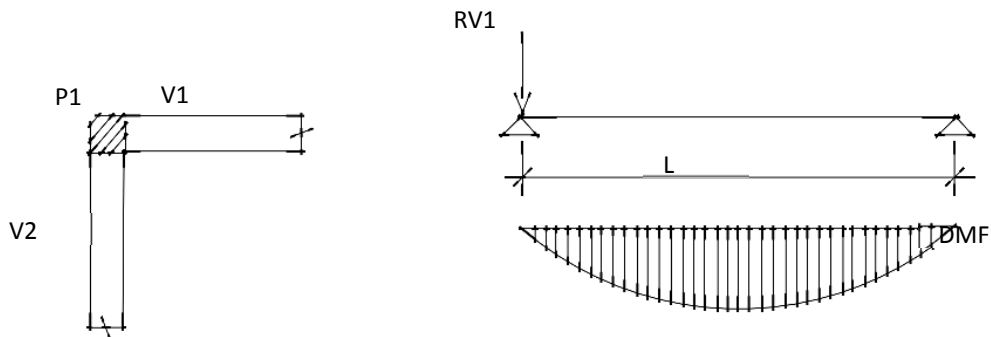
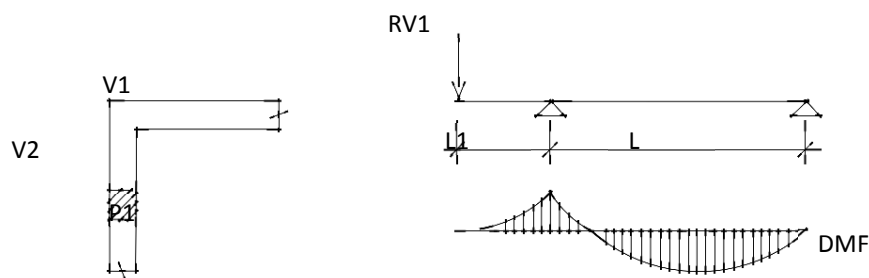


Figura 7 – Pilar recuado – diagrama de momento fletor.



7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre estrutura e arquitetura é fundamental para projetos de qualidade e ao bom andamento das obras de construção civil. Os novos materiais, as tecnologias disponíveis, que levam em consideração aspectos técnicos de desempenho, manutenções, processos executivos, facilitam a concepção e a integração entre projetos.

A escolha do sistema estrutural e tecnologias construtivas impactam diretamente no conhecimento do espaço ocupado pelos elementos estruturais no projeto urbanístico-arquitetônico. Deve-se conciliar forma, material e sistema estrutural. Sendo necessária uma avaliação das dimensões dos elementos estruturais, seus ganhos no projeto arquitetônico, avaliação da área construída que a edificação irá ganhar com a redução dos elementos construtivos, o ganho de pé direito, e a redução de cargas na fundação e o consumo de materiais.

As questões apresentadas têm auxiliado aos alunos das disciplinas de Sistemas Estruturais e Projeto Integrado do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí na busca de novas soluções de sistemas estruturais e materiais que suportem maiores cargas, permitam maiores vãos, atendam a questões de conforto e infraestrutura urbana além das interferências no projeto urbanístico arquitetônico.

REFERÊNCIAS

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

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.

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.

DIAS, Luis Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2002.

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.

NETO, Jorge Batlouni. Diretrizes do projeto de estrutura para garantia do desempenho e custo. In: ISAIA, Geraldo Cechella, **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Vol. 1. São Paulo, SP: IBRACON, 2011.

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. 2003.

REBELLO, Y.C.P. **Bases para projeto estrutural**. São Paulo: Ed. Zigurate. 7ª edição. 2018.

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

TORROJA, E. **Razón y Ser de los Tipos Estructurales**. Madrid: MAG. English version: Philosophy of Structures, translated by J.J. Polivka and Milos Polivka, 1960.

TEACHING AND LEARNING OF STRUCTURES AND CONCEPTION IN ARCHITECTURAL PROJECTS

Abstract: The teaching of structures in the courses of Architecture and Urbanism is essential for the training of the architect. In order to design a project and then the execution of the building, it is necessary to take into account issues such as: functionality, aesthetics, available materials, transportation, costs and manpower. With this, one must reconcile form, material and structural system. The Laboratory of Materials and Constructive Techniques (LAMCO) of the University of Vale do Itajaí have developed studies to improve teaching and learning in this sense. The main objective of this work is to help students of the architecture and urbanism courses in the search for new solutions of structural and material systems that support greater loads, allow larger spans, attend to comfort and urban infrastructure issues besides the interferences in architectural urban design. The methodology involves studies and discussions about the theme and discusses work done. As results, new materials and interface between structures and architecture are proposed.

Key-words: *Teaching-learning. Structural and technological systems. Architectural project.*