

NBR 6118 E EUROCODE 2: ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES E VIGAS EM CONCRETO ARMADO

NBR 6118 AND EUROCODE 2: COMPARATIVE ANALYSIS ON DIMENSIONING OF SLABS AND BEAMS OF REINFORCED CONCRETE

LOPES, Pedro Henrique Pires

Aluno de Graduação em Engenharia Civil e bolsista de Iniciação Científica, UFMG.

Email: pedrohlpopes@gmail.com

COLARES, Lucas Lopes Bicalho

Aluno de Graduação em Engenharia Civil, UFMG.

Email: lucascolares@gmail.com

SANTOS, White José dos

Professor Mestre, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG.

Email: white.santos@demc.ufmg.br

RIBEIRO, Sidnea Eliane Campos

Professora Doutora, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG.

Email: sidnea@ufmg.br

Resumo

As normas técnicas foram criadas para padronizar não só medidas, mas também processos executivos e de controle de qualidade. Com o acelerado crescimento da engenharia no Brasil e no mundo, se tornou cada vez mais necessário o uso dessas normas, tanto para padronizar processos de execução em projetos e obras, quanto para garantir segurança e confiabilidade ao produto. O concreto armado é um elemento amplamente utilizado em obras de engenharia, e para a segurança da estrutura, é necessário que o dimensionamento seja feito adequado à norma local. Visto que as normas são distintas devido a sua localidade, apresenta-se no seguinte trabalho os resultados dos métodos de dimensionamento de estruturas de concreto armado utilizando a norma brasileira NBR 6118:2003 quanto os resultados dos métodos segundo a norma vigente na Europa Eurocode2, de modo a criar uma comparação quantitativa do aço a ser utilizado em uma peça de concreto armado.

Palavras Chave: Dimensionamento, NBR 6118:2003, Eurocode2.

Abstract

Technical standards were created to standardize not only measures but also executive processes and quality control. With the rapid growth of engineering in Brazil and in the world, become increasingly necessary to use these standards, both to standardize processes running in projects and works, how to ensure security and reliability to the product. Reinforced concrete is an element widely used in engineering works, and for the safety of the structure, it is necessary that the design be made appropriate to the local standard. Because rules are different due to its location, is presented in following paper, the results of design methods of reinforced concrete structures using the Brazilian standard NBR 6118: 2007 as the results of the methods according to the current regulations in Europe Eurocode2 of to create a quantitative comparison of steel and concret to be used in a piece of reinforced concrete.

Keywords: Dimensioning, NBR 6118: 2007 Eurocode 2

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de larga aplicação na construção civil, composto por cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que também influenciam o seu desempenho. A proporção de seus componentes (dosagem ou traço) deve atender às condições requeridas de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais do concreto, RIBEIRO, PINTO e STARLING (2006). Apesar de sua amplamente utilização, o concreto sozinho não é adequado para elementos estruturais. Enquanto apresenta boa resistência a compressão, resiste pouco à tração. E para isso torna-se importante associar o concreto a um material que resista a este esforço, sendo este material o aço.

Desta maneira, os materiais trabalham simultaneamente, criando um material altamente resistente que é chamado de concreto armado. Algumas das vantagens é a boa resistência, boa trabalhabilidade, resistência ao fogo, durabilidade e técnicas de execução já amplamente dominadas. Por contra partida, tem desvantagens como elevado peso próprio, baixo graus de proteção térmica e acústica além de reformas e adequações difíceis de serem realizadas. Por suas vantagens o concreto armado é muito utilizado na construção de elementos estruturais, como as lajes, vigas e pilares.

As lajes são elementos planos em que duas de suas dimensões são consideravelmente maiores do que a terceira. São utilizadas como piso, como elemento de vedação, e para transferência de cargas para as vigas. As vigas são os elementos estruturais responsáveis por receber as cargas descarregadas pelas lajes. Logo o dimensionamento de uma estrutura deve garantir que ela suporte as solicitações a ela submetidas durante sua execução e utilização, TEPEDINO (1978), AMORIM (2005).

A engenharia civil no Brasil criou uma demanda muito grande por profissionais que estejam adequados às normas que regem seu segmento profissional. É preciso se adequar, tanto às normas, quanto à tecnologia usada para facilitar e acelerar processos, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2010). Softwares de dimensionamento de estruturas de concreto armado são programados tendo como base as normas vigentes em cada região. Em alguns casos, a utilização de softwares internacionais pode gerar conflitos quanto às normas. Na Europa, tem-se o Eurocode 2, norma que se equivale à NBR 6118: 2007. Cada uma com sua particularidade e critérios.

O objetivo geral deste artigo é comparar os critérios de dimensionamento da NBR 6118: 2007 e da Eurocode2, criando a possibilidade de uma análise crítica dos resultados obtidos com a utilização de cada norma em separado.

Tal análise se fará possível através do cálculo de elementos estruturais de um projeto arquitetônico conhecido e assim, observar as diferenças nos resultados, o possível motivo destas diferenças, e possíveis conseqüências nos resultados do dimensionamento.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O trabalho analisou o comportamento da estrutura que segue na Figura 1. A estrutura é a base para um reservatório de água residencial com capacidade para 10.000 litros.

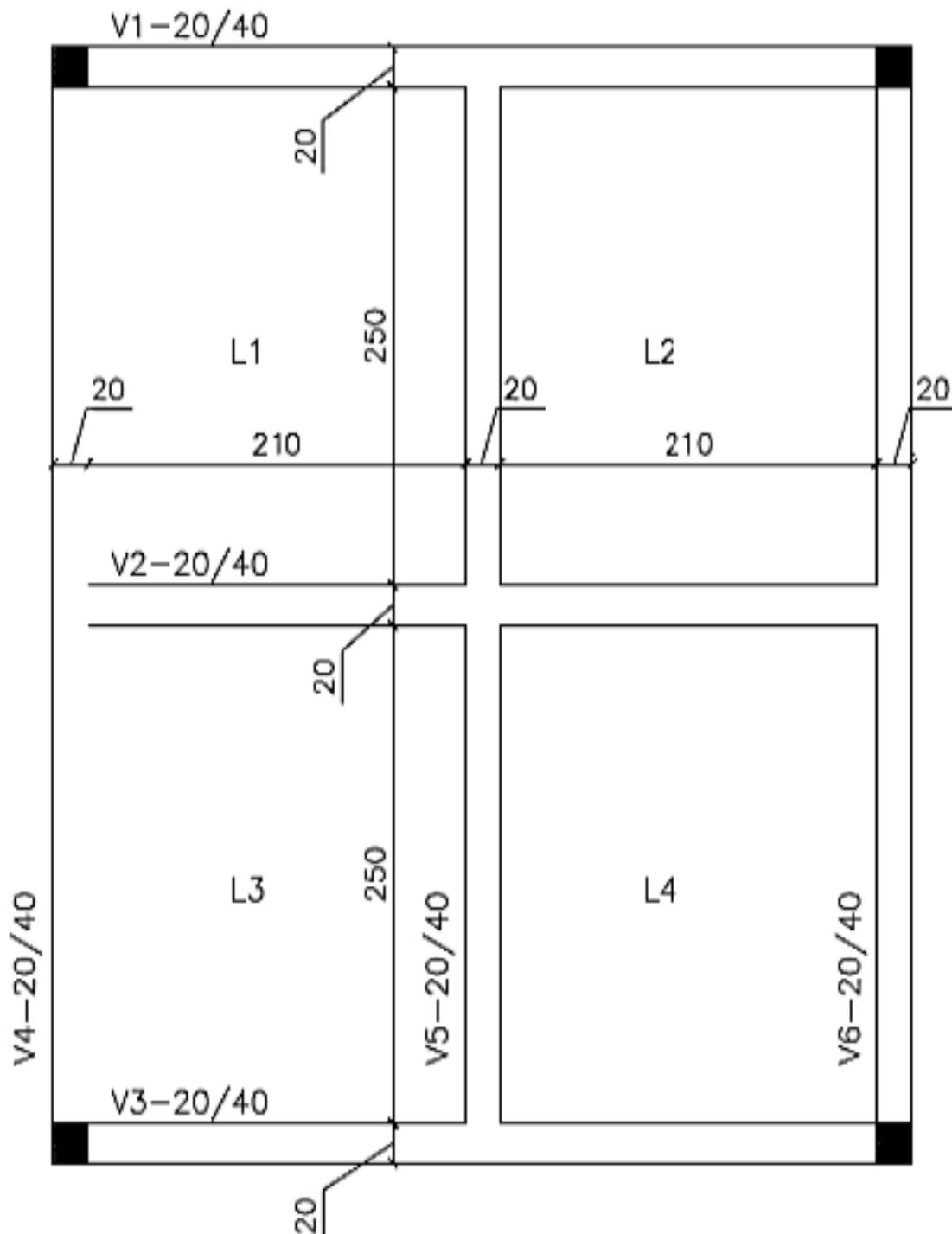


Figura 1 - Estrutura a ser dimensionada- Fôrma

Nota-se que a estrutura é composta por elementos semelhantes, se pela uniformidade dos carregamentos, terão o mesmo dimensionamento. É o caso das lajes, todas com a mesma área, e no caso das vigas V1=V3 e V4=V6. As Vigas V2 e V5 serão dimensionadas separadamente.

Após a realização do dimensionamento da estrutura apresentada seguindo parâmetros da norma NBR 6118: 2007 utilizada no Brasil, e seguindo parâmetros da norma Européia Eurocode 2, é possível chegar a conclusões comparativas principalmente quanto à quantidade de armadura utilizada. Os itens a seguir apresentam a comparação entre os resultados dos cálculos realizados.

3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PROCESSOS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

3.1 Comparativo dos carregamentos de cálculo

As cargas atuantes sobre a estrutura são as mesmas. Sobrecarga igual a 4,0kN/m², devido à água, revestimento igual a 0,5kN/m², e o peso próprio dos elementos igual a 3,0kN/m², resultando em uma carga Q=7,5kN/m². Quanto às cargas variáveis, a norma NBR6118: 2007 recomenda o valor de q=0,5kN/m², enquanto para Eurocode 2 este valor é de q=1,0kN/m².

Existe outra diferença nos coeficientes de ponderação das cargas. Enquanto para a norma NBR 6118: 2007 os coeficientes de majoração para as cargas permanentes e variáveis são iguais a 1,4 nas duas situações, a norma europeia Eurocode2 diferencia estes valores, sendo 1,35 para carga permanente, e 1,5 para as cargas variáveis. Sendo assim, os valores dos carregamentos de cálculo são apresentados na Tabela 1, para cada norma.

Tabela 1 - Comparativo entre carregamentos de cálculo

NBR 6118: 2007	Coeficiente Y_g	Q Permanente (kN/m²)	Coeficiente Y_q	Q variável (kN/m²)	Fd (kN/m²)
	1.4	7.5	1.4	0.5	11.2
Eurocode2	1.35	7.5	1.5	1	11.625
Diferença Percentual					3.79%

3.2 Comparativo da área mínima prevista

A fim de garantir a segurança e estabilidade da estrutura, é estabelecida por cada norma uma taxa mínima de armadura necessária para essa confiabilidade. A seguir um comparativo básico entre as armaduras mínimas previstas para os elementos estudados.

3.2.1 Comparativo entre a armadura mínima na laje

A armadura mínima depende apenas da geometria da seção de concreto do elemento estudado e da resistência do concreto. Sabendo-se que no trabalho, a seção e resistência foram consideradas as mesmas para as duas normas, foi feito um comparativo entre as armaduras mínimas para o momento negativo e momento positivo, apresentado a seguir pela Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo entre armaduras mínimas previstas nas lajes

	Armadura Negativa	Armadura Positiva
NBR 6118: 2007	$A_s = b \cdot h \cdot \rho = 100 \cdot 12 \cdot 0,0015 = 1,8 \text{cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,67 \cdot b \cdot h \cdot \rho = 0,67 \cdot 100 \cdot 12 \cdot 0,0015 = 1,21 \text{cm}^2/\text{m}$
Eurocode2	$A_s = b \cdot h \cdot \rho = 100 \cdot 12 \cdot 0,0013 = 1,56 \text{cm}^2/\text{m}$	$A_s = b \cdot h \cdot \rho = 100 \cdot 12 \cdot 0,0013 = 1,56 \text{cm}^2/\text{m}$
Diferença percentual	15.38%	-22.44%

Estes valores indicam que a norma brasileira apresenta uma armadura mínima negativa maior do que a Eurocode 2, no entanto, para a armadura positiva, a norma europeia é mais conservadora.

3.2.2 Comparativo entre a armadura mínima para a flexão nas vigas

No estudo da flexão nas vigas, a comparação entre armaduras mínimas é mais simples, pois não há distinção entre armaduras para momento positivo ou negativo. Desta forma, o comparativo é apresentado pela Tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo entre armaduras mínimas para flexão das vigas

NBR 6118:2007	$A_s = b \cdot h \cdot \rho = 20 \cdot 40 \cdot 0,0015 = 1,2 \text{cm}^2/\text{m}$
Eurocode2	$A_s = b \cdot h \cdot \rho = 20 \cdot 40 \cdot 0,0013 = 1,04 \text{cm}^2/\text{m}$
Diferença percentual	15.38%

3.2.3 Comparativo entre armadura mínima para o cisalhamento

A taxa de armadura mínima de combate ao esforço de cisalhamento é calculada de maneira bastante distinta entre uma norma e outra. Essa taxa depende da resistência do concreto e do aço. Segundo a norma NBR 6118: 2007, para o concreto com $f_{ck}=25\text{MPa}$, a taxa de armadura é igual a 0,088. Já para a norma Eurocode 2, a taxa é de 0,0082. Os valores de armadura mínima foram obtidos multiplicando a taxa pela largura da seção, e dividindo por dois, já que o estribo cobre as duas laterais da viga. Desta forma, os valores são apresentados pela Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo entre armaduras mínimas para cisalhamento

	Armadura Mínima
NBR 6118: 2007	$As=b.p=20.0,088/2=0,88\text{cm}^2/\text{m}$
Eurocode2	$As=b.p=20.0,0082/2=0,082\text{cm}^2/\text{m}$
Diferença percentual	973.17%

As taxas de armadura mínimas são de ordem de grandeza bastante distintas para cada norma, e por isso a diferença percentual considerável entre uma e outra, sendo que para a norma Brasileira a área mínima necessária é bem maior. Em várias situações a armadura calculada obteve valor inferior à mínima necessária. O item a seguir apresenta os valores de armadura previstos para cada situação de cálculo, desconsiderando a armadura mínima, bem como os valores de fato indicados a serem utilizados.

3.3 Resultados do cálculo da laje

Depois de realizados os cálculos, é possível formular uma tabela comparativa com os valores de armadura prevista, armaduras utilizadas e espaçamentos. A armadura utilizada será a maior em uma comparação entre a prevista e a mínima, vide Tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo dos resultados do dimensionamento da laje

LAJE						
DIREÇÃO X		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada(cm²/m)</i>	0.5	1.21	0.5	1.46
		<i>Armadura utilizada(cm²/m)</i>	1.21	1.8	1.56	1.56
	<i>Espaçamento(cm)</i>	20	17	20	20	
DIREÇÃO Y		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada(cm²/m)</i>	0.58	1.4	0.58	1.7
		<i>Armadura utilizada(cm²/m)</i>	1.21	1.8	1.56	1.7
	<i>Espaçamento(cm)</i>	20	17	20	18	

Como apresentado anteriormente, os valores dos carregamentos são bem similar, o que influenciou na armadura calculada para este elemento. Pode-se notar uma proximidade entre os valores calculados para a norma Brasileira e para a norma europeia, mas que neste caso a norma europeia recomenda utilização de maior área de aço.

3.4 Resultados do cálculo das vigas quanto à flexão

A Tabela 6 a seguir apresenta a comparação dos valores de armaduras calculados e as armaduras de fato utilizadas para as vigas.

Os valores calculados são em sua maioria maiores do que a armadura mínima necessária, e por isso são a armadura de fato utilizada, com exceção para as vigas V2 e V5, que não apresentam momento negativo, e por isso é utilizada armadura mínima. Como os valores de carregamento são bem parecidos, os valores entre uma norma e outra tem grande semelhança.

Tabela 6 - Comparativo dos resultados do dimensionamento das vigas à flexão

VIGAS						
VIGA V1=V3		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada (cm²)</i>	3.77	4.51	3.58	4.63
		<i>Armadura utilizada (cm²)</i>	3.77	4.51	3.58	4.63
VIGA V2		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada (cm²)</i>	3.3	0	3.37	0
		<i>Armadura utilizada (cm²)</i>	3.3	1.2	3.37	1.04
VIGA V4=V6		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada (cm²)</i>	3.5	5.23	3.57	5.4
		<i>Armadura utilizada (cm²)</i>	3.5	5.23	3.57	5.4
VIGA V5		NBR 6118: 2007		EUROCODE 2		
		<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	<i>Momento Positivo</i>	<i>Momento Negativo</i>	
		<i>Armadura Calculada (cm²)</i>	6.43	0	6.73	0
		<i>Armadura utilizada (cm²)</i>	6.43	1.2	6.73	1.04

3.5 Resultado dos cálculos das vigas quanto ao cisalhamento

A Tabela 7 apresenta os valores da armadura calculada, armadura utilizada, bem como o espaçamento para atender a solicitações de cisalhamento nas vigas.

Os valores da armadura são bem parecidos, pelo fato de o método de cálculo ser o mesmo, e os valores de cargas utilizadas serem parecidos. As cargas pequenas fornecem valores de armadura bem próxima da mínima recomendada pela norma NBR 6118: 2007. No entanto, estes mesmo valores são muito maiores do que o mínimo para a Eurocode 2, visto que o valor mínimo recomendado para esta norma é muito baixo. A viga V2 apresentou tensão de cisalhamento muito baixa, e por isso, a armadura não foi calculada, como recomenda a norma.

Tabela 7 - Comparativo dos resultados do dimensionamento das vigas ao cisalhamento

VIGAS			
VIGA V1=V3		NBR 6118:2003	EUROCODE 2
	<i>Armadura Calculada (cm²/m)</i>	0.73	0.73
	<i>Armadura utilizada (cm²/m)</i>	0.88	0.73
	<i>Espaçamento (cm)</i>	21.5	28
VIGA V2		NBR 6118:2003	EUROCODE 2
	<i>Armadura Calculada (cm²/m)</i>	0	0
	<i>Armadura utilizada (cm²/m)</i>	0.88	0.082
	<i>Espaçamento (cm)</i>	20	28
VIGA V4=V6		NBR 6118:2003	EUROCODE 2
	<i>Armadura Calculada (cm²/m)</i>	0.85	0.86
	<i>Armadura utilizada (cm²/m)</i>	0.88	0.86
	<i>Espaçamento (cm)</i>	21.5	28
VIGA V5		NBR 6118:2003	EUROCODE 2
	<i>Armadura Calculada (cm²/m)</i>	0.64	0.66
	<i>Armadura utilizada (cm²/m)</i>	0.88	0.66
	<i>Espaçamento (cm)</i>	21.5	28

4 CONCLUSÕES

Durante a realização do estudo foi possível notar peculiaridades de cada uma das normas, no entanto os resultados foram parecidos. A armadura mínima é recomendada para garantir a segurança e estabilidade da estrutura contra o seu colapso, e pode ser definida de acordo com as características do elemento, geralmente pelas geometrias da seção física do concreto. Essa armadura mínima é obtida multiplicando-se o valor da área da seção de concreto por uma determinada taxa de armadura mínima.

Para a flexão segundo a NBR 6118: 2007, este valor de taxa de armadura varia de acordo com a resistência do concreto, enquanto para a Eurocode2 o valor da taxa é constante. Além disso, a norma brasileira permite que a armadura mínima para o momento positivo em lajes seja reduzida para 67% do valor original, o que reduz o consumo de aço, e diferencia os valores para a norma Européia. Para o cisalhamento a determinação da armadura mínima segundo a norma brasileira se dá em função apenas da resistência do concreto, enquanto para a norma Européia, a taxa depende também da resistência do aço utilizado.

Após a realização do trabalho, os resultados foram os esperados. As normas geram resultados bem similares, pois o método de cálculo é similar em ambos os casos, baseando-se no equilíbrio dos estados limites de ruptura da estrutura. De maneira geral, a norma brasileira aparenta ser ligeiramente menos conservadora do que a norma Européia, por apresentar quantidade de aço menor do que para a Eurocode 2.

Este resultado ocorre devido os carregamentos de cálculo gerados serem menores segundo a NBR 6118: 2007. Desta forma, pode-se dizer que a norma Européia trabalha mais a favor da segurança do que a norma Brasileira, o que não as torna um documento inválido. Há casos em que o profissional responsável pela execução do projeto da estrutura de concreto armado utiliza de programas de computador estrangeiros que não possuem a norma brasileira como parâmetro. Logo, há a necessidade de se adequar os relatórios gerados para a norma nacional. Contudo, este profissional pode utilizar a norma Européia como auxílio e como parâmetro nos cálculos, pois como concluído no trabalho, os resultados são bem próximos, não comprometendo a confiabilidade e estabilidade da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, N.S. Notas de aula de Concreto Armado I da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6120 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. 1980.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, 3 ed. São Carlos, EdUFSCar, 2010, 368p.

NORMA EUROPEIA (1992) – Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T.. Materiais de Construção Civil, 2 ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2006, 102p.

TEPEDINO, J. M., Apostilas: Flexão Simples, Lajes, Controle da fissuração, 1978.