



REFORÇO À FLEXÃO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO COM A ADIÇÃO DE UMA CAMADA DE CONCRETO

André Pereira Pinto

Ibrahim Abd El Malik Shehata

pereirapintoandre@gmail.com

ibrahim@coc.ufrj.br

COPPE / UFRJ

Rua Athos da Silveira Ramos, nº 149, Ilha do Fundão, 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Resumo. Estruturas de concreto necessitam periodicamente de cuidados e manutenções sistemáticas para manterem suas propriedades estruturais e estéticas em boas condições. Quando seu desempenho se torna inadequado, por degradação da estrutura ou por alteração do tipo de uso da edificação, tornam-se necessárias intervenções que as readéquem. Para isso existem diversas técnicas de reforço de estruturas, sendo que cada uma delas tem suas vantagens e desvantagens, não existindo uma técnica melhor que as demais e sim uma técnica que é mais adequada e viável economicamente para uma determinada situação. Dentre as diversas técnicas de reparo e reforço para estruturas de concreto armado, este trabalho aborda a técnica de reforço de lajes de concreto armado caracterizada pela adição de uma camada de concreto na face comprimida. Dentro desse contexto esse artigo apresenta uma metodologia de cálculo para determinar a resistência de lajes reforçadas, levando em conta a resistência a compressão do concreto, a espessura da camada de reforço e as deformações existentes na laje antes de ser reforçada. Para validar a metodologia proposta a mesma foi aplicada em lajes ensaiadas experimentalmente por outros pesquisadores e a comparação dos resultados confirmou a precisão da metodologia proposta. Para conhecer melhor o comportamento estrutural das lajes reforçadas também foram criados modelos numéricos via Método dos Elementos Finitos, levando em conta a fissuração do concreto, a sequência construtiva do reforço e o uso de conectores de cisalhamento. Finalmente, baseado nos resultados desse estudo, são apresentadas algumas recomendações para o projeto de reforço de lajes usando essa técnica.

Palavras chave: Concreto armado, Lajes, Reforço.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos fatores que podem degradar ou tornar inadequada uma estrutura de concreto armado destacam-se os erros de projeto e de execução, utilização indevida, falta de manutenção, danos acidentais (colisões ou incêndios) e dentre outros. Além desses, hoje no Brasil o sistema estrutural de uma edificação deve possuir vida útil de projeto mínima de 50 anos, segundo a ABNT NBR 15575-1:2013, e ao longo desse período podem ocorrer alterações do tipo de uso da edificação, gerando em alguns casos a necessidade de readequação da estrutura.

Atualmente existem diversas técnicas de reforço de estruturas de concreto, podendo-se citar o encamisamento total ou parcial do elemento, a protensão externa, a adição de chapas e perfis de aço ou de materiais compósitos, dentre outros. Cada técnica de reforço possui suas vantagens e desvantagens, não existe técnica melhor ou pior e sim a mais adequada e viável, técnica e economicamente, para determinada situação.

Ultimamente têm-se publicado muito a respeito das técnicas de reparo e reforço de estruturas, isso aliado a disponibilidade de uma ampla gama de materiais e equipamentos no mercado da construção civil vêm tornando a execução dessas técnicas cada vez mais viáveis economicamente. No entanto, ainda não existe nenhuma norma ou recomendação amplamente difundida entres os profissionais da área. Diante disto, optou-se nesta pesquisa por estudar a técnica de reforço de lajes de concreto armado caracterizada pela adição de uma camada de concreto na face superior, apresentando para tal uma metodologia de cálculo que determina a resistência da laje reforçada.

O método de reforço estudado neste trabalho pode ser em determinadas situações muito prático uma vez que faz uso de materiais comuns da construção civil (aço e concreto) e não necessita de mão de obra especializada, por se tratar de uma concretagem. Outra vantagem é que no caso de um edifício de múltiplos andares, somente o pavimento que será reforçado necessitará ser interditado.

Ao contrário do que inicialmente se imagina, esse tipo de solução não implica no aumento da espessura final (incluindo o acabamento) da laje, uma vez que os materiais não estruturais como o piso e o contra piso, que possuem em média espessura de 4 a 5cm, podem ser substituídos por uma camada de concreto mais um piso laminado ou porcelanato líquido, que possuem espessura inferior a 5mm, colados sobre o concreto. Ou seja, ao mesmo tempo que a laje é reforçada o piso é reformado mantendo-se inalterada a espessura final da laje e o pé direito do pavimento. Outra aplicação é no reforço de tabuleiros de pontes, substituindo a camada de asfalto, geralmente em torno de 7cm, por uma camada de concreto estrutural.

2 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta nesse artigo para determinar a resistência de laje reforçadas com adição de uma camada de concreto se divide em três etapas: a primeira consiste em verificar a viabilidade técnica, a segunda determina a resistência da laje reforçada em função da espessura do reforço e a terceira realiza o dimensionamento dos conectores de cisalhamento.

2.1 Viabilidade técnica

Para que a aplicação do reforço seja viável, tecnicamente, é necessário que exista na laje uma taxa de armadura que permita aumentar a altura útil sem desprezar a taxa mínima de armadura estabelecida pela ABNT NBR6118:2014. O reforço deve também possuir uma espessura que permita a inserção e ancoragem dos conectores de cisalhamento e de armaduras de flexão, como por exemplo, armaduras negativas nas regiões de momento fletor negativo.

2.2 Determinação da resistência da laje reforçada

De posse do detalhamento da laje a ser reforçada, das propriedades mecânicas dos materiais que a compõem e da carga atuante é possível determinar o estado de tensões da mesma antes de ser reforçada utilizando as equações da teoria da elasticidade com as propriedades da seção homogeneizada, como mostra a Figura 1 e as expressões (1), (2) e (3).

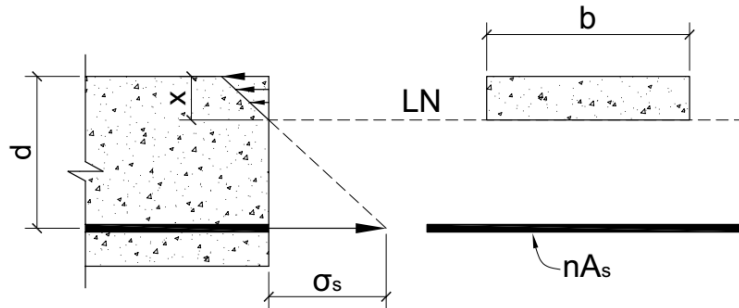


Figura 1: Distribuição das tensões normais e vista frontal da seção homogeneizada da faixa de laje sem reforço.

$$x = \frac{-nA_s + \sqrt{n^2A_s^2 + 2nA_sb d}}{b} \quad (1)$$

$$I = \frac{bx^3}{3} + nA_s(d-x)^2 \quad (2)$$

$$\sigma_s = \frac{M_1^+(d-x)n}{I} \quad (3)$$

Sendo que x é a profundidade da linha neutra, n é a razão entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto, A_s é a área de aço da armadura positiva, b é a largura da faixa de laje, d é a distância entre a fibra mais comprimida do concreto e o centroide da armadura tracionada da laje, I é o momento de inércia da seção homogeneizada, σ_s é a tensão na armadura positiva e M_1^+ é o momento fletor positivo que atua na laje durante da cura do reforço.

Com a tensão na armadura conhecida, determina-se a reserva de tensão na armadura de flexão ($\sigma_{s,r}$) com a expressão (4), onde f_{yd} é a tensão de escoamento da armadura de cálculo.

$$\sigma_{s,r} = f_{yd} - \sigma_s \quad (4)$$

A reserva de tensão do aço é diretamente proporcional ao aumento da resistência da laje após o reforço, por isso quanto menos solicitada estiver a laje durante a execução do reforço, maior será a reserva de tensão da armadura e consequentemente maior será a eficiência do reforço. O ideal é que durante a cura do reforço a laje esteja solicitada somente pelo seu peso próprio.

Após a cura do reforço, toda carga aplicada na laje passará a ser resistida pelo binário, formado pelas forças da camada de reforço e da armadura de flexão, ver Figura 2.

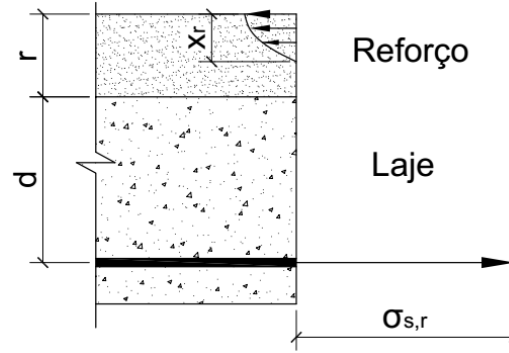


Figura 2: Distribuição das tensões normais na laje reforçada.

Fazendo o equilíbrio dos esforços internos da seção reforçada determina-se a profundidade da linha neutra no reforço (x_r), expressão (5). E com o equilíbrio de momentos determina-se o momento fletor resistente criado pela adição do reforço (M_2^+), expressão (6).

$$x_r = \frac{A_s(f_{yd} - \sigma_s)}{0,8b\eta f_{cd}} \quad (5)$$

$$M_2^+ = A_s(f_{yd} - \sigma_s)(d + r - 0,4x_r) \quad (6)$$

Onde, η é o coeficiente de redução da resistência à compressão do concreto devido a fluência ($\eta = 0,85$) e f_{cd} a resistência de cálculo do concreto à compressão.

O momento fletor positivo resistente da laje reforçada ($M_{Rd,r}$) é a soma de M_1^+ e M_2^+ , sendo que o acréscimo de momento fletor positivo gerado pela adição do reforço é dado pela expressão (7), onde M_{Rd} é o momento resistente da laje não reforçada.

$$\Delta M^+ = M_{Rd,r} - M_{Rd} \quad (7)$$

Caso a laje apresente alguma região com momento negativo, torna-se necessário aumentar a resistência à flexão dessa região, pois o acréscimo de carga Δq que gera ΔM^+ também irá gerar ΔM^- .

Para aumentar a resistência à flexão das regiões com momento fletor negativo pode-se adicionar armadura negativa ($A'_{s,r}$) na camada de reforço, como ilustra a Figura 3.

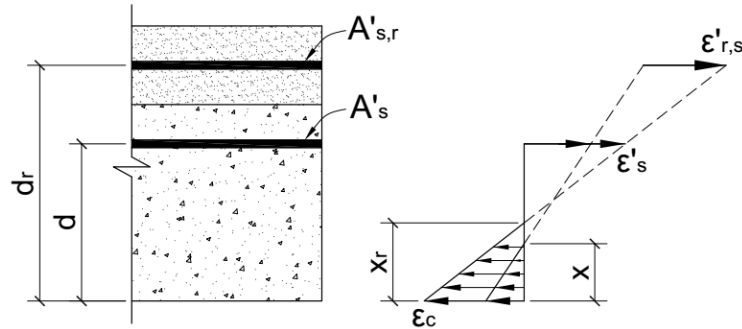


Figura 3: Distribuição das deformações da seção em regiões de momento negativo.

Diferente da metodologia aplicada para a região de momento positivo para encontrar x_r em seções com momentos negativos será necessário realizar um processo iterativo, como ponto de partida sugere-se adotar que x_r é proporcional ao acréscimo de momento fletor negativo, utilizando para isso as expressões (8) e (9), respectivamente.

$$x = \frac{A'_s f_{yd}}{0,8b\eta f_{cd}} \quad (8)$$

$$x_r \cong \left(1 + \frac{\Delta M^-}{M_{Rd}^-}\right) x \quad (9)$$

Calcula-se então a área de aço a ser adicionada no reforço ($A'_{s,r}$) conforme a expressão (10).

$$A'_{s,r} \cong \frac{\Delta M^-}{f_{yd}(d'_r - 0,4x_r)} \quad (10)$$

Para verificar se a estimativa da profundidade da linha está aceitável, calcula-se uma nova profundidade da linha neutra da seção reforçada (x'_r) de acordo com a expressão (11), que é baseada no equilíbrio das forças internas da seção.

$$x'_r = \frac{(A'_s + A'_{s,r})f_{yd}}{0,8b\eta f_{cd}} \quad (11)$$

Se $|x'_r - x_r| < 0,01d$, as estimativas de x_r e $A'_{s,r}$ estão admissíveis, caso contrário, deve-se fazer $x_r = x'_r$ e calcular novamente $A'_{s,r}$ com a expressão (10), o processo deve ser repetido até que o critério de parada seja satisfeito.

2.3 Conectores de cisalhamento

Para garantir o comportamento monolítico da seção reforçada — uma vez que a força de compressão no reforço pode provocar um deslizamento do mesmo sobre a laje — deve-se distribuir conectores de cisalhamento cruzando a interface laje-reforço, sendo que seu dimensionamento deve seguir os procedimentos do item 6.3 da ABNT NBR 9062:2017.

3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para verificar a precisão da metodologia de cálculo proposta nesse artigo, aplicou-se à em lajes reforçadas e ensaiadas até a ruptura. Com o momento resistente calculado para cada laje conforme seção 2.2, utilizou-se a Teoria das Charneiras Plásticas para determinar a carga última e assim compará-las com os resultados experimentais.

Campos (2000), Pires (2003), Calixto *et al.* (2005), Costa (2006) e Ibrahim *et al.* (2014) estudaram de forma experimental esse tema, os resultados obtidos por eles foram utilizados para comparação (ver Tabela 1).

Tabela 1: Características de cada laje ensaiada por diferentes autores, resultados experimentais e resultados aplicando a metodologia de cálculo proposta nesse artigo.

Autor	Característica das lajes								Carga última		
	Vão (cm)	d (cm)	r (cm)	E_c (GPa)	E_s (GPa)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	A_s (cm ² /m)	Exp.	Met. Proposta	Unid.
Campos (2000)	415	6,2	3,0 ⁽¹⁾	17,1	200	51,9	734	0,98	12,3	12,97	kN/m ²
		6,0		15,7	201	56,4	777		12,0	13,43	
Pires (2003)	150	7,6	5,0	25,9	199,5	36,9	683	7,85	116,5 118,8	114,31 ⁽²⁾	kN
Calixto <i>et al.</i> (2005)	150	7,6	5,0	25,9	199,5	36,9	683	7,85	108,0 ⁽³⁾	114,31 ⁽²⁾	kN
Costa (2006)	200	11,0	6,0	25,9	200	24,0	850	0,55	58,0	51,40	kN
		3,0					760	0,56			
		3,0					740	0,79			
	200	11,0	6,0	25,9	200	24,0	850	0,55	69,0	62,80	kN
		3,0					760	0,56			
		3,0					740	0,79			
Ibrahim <i>et al.</i> (2014)	150	0,0	4,0	28,0	200	33,0	600	6,28	50,0	75,50 ⁽⁵⁾	kN
									69,9		
									80,0		
									95,0		
									80		

(1): Reforço com espessura variando entre 4cm no centro e 2cm da borda da laje, logo adotou-se o valor médio;

(2): Durante a execução do reforço a laje era solicitada pelo seu peso próprio e o do reforço;

(3): O autor cita que houve deslizamento entre a laje e o reforço;

(4): Valor não informado pelo autor e adotado como 0,8h;

(5): A distância entre o ponto de aplicação da carga e o apoio não foi informado pelo autor, adotou-se um terço do vão;

4 MODELO NUMÉRICO

Como intuito de analisar a evolução das tensões normais nas lajes reforçadas e entender melhor seu comportamento estrutural em serviço, fez-se modelos numéricos com o *software* SAP2000 (versão 14), cuja análise dá-se por meio do Método dos Elementos Finitos.

Na modelagem das lajes foram utilizados elementos de sólidos tridimensionais (*solid elements*) para representar o concreto, elementos de barra (*frame elements*) para as armaduras e elementos especiais de ligação (*link elements*) para simular as fissuras no concreto.

Os elementos de concreto foram definidos com comportamento isotrópico elástico-linear com coeficiente de Poisson 0,2 e peso específico de 25kN/m³. Já os elementos de barra foram definidos com comportamento uniaxial elástico-linear, seção transversal circular, coeficiente de Poisson 0,3 e peso específico de 78,8kN/m³.

Uma das dificuldades encontradas na modelagem do concreto foi a consideração da fissuração do concreto, já que quando os nós dos elementos sólidos são conectados diretamente nos nós dos elementos sólidos adjacentes todos os esforços são integralmente transmitidos de um elemento para o outro, incluindo os esforços de tração, não sendo identificada no *software* nenhuma opção de alteração no elemento que permita um comportamento diferente.

Como o elemento sólido do SAP2000 trabalha apenas com materiais de comportamento elástico-linear, a maneira encontrada para eliminar a resistência a tração do concreto foi criando conjuntos de elementos sólidos conectados por elementos de ligação (ver Figura 4) que simulam fissuras no concreto. Essa solução é baseada no trabalho de Guerrante (2013).

Dentre os vários tipos de elemento de ligação disponíveis na biblioteca do *software* escolheu-se o elemento tipo “*gap*” que possui rigidez apenas à compressão e ao cisalhamento, ignorando dessa forma qualquer resistência à tração no plano da fissura.

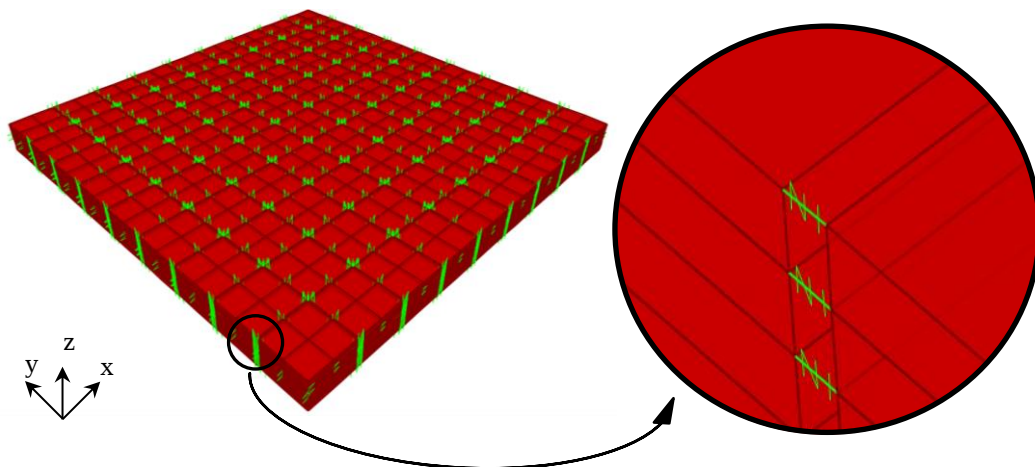


Figura 4: Vinculação entre os elementos sólidos com os links.

Para rigidez axial de compressão dos elementos de ligação, direção U1, foi adotado um valor muito elevado (10^{10}), buscando assim reduzir ao máximo sua influência na deformação da laje. As direções transversais, U2 e U3, foram marcadas como fixas.

As armaduras inseridas nos modelos foram representadas de forma discreta, ou seja, nós das barras coincidindo com os nós dos elementos sólidos. E seguindo a malha dos elementos sólidos distribuiu-se as barras de aço a cada 10cm nas duas direções, como mostrado na Figura 5.

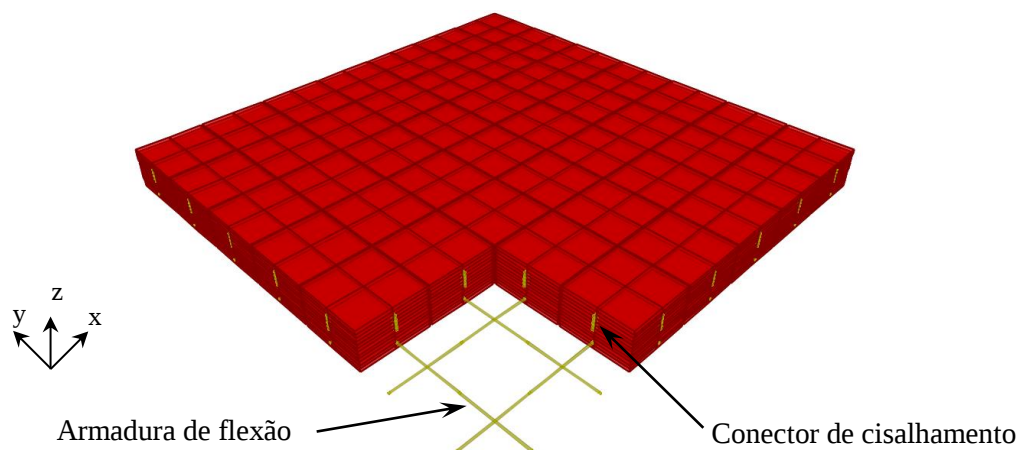


Figura 5: Ilustração das armaduras inseridas nos modelos.

Para reduzir o esforço computacional durante a análise numérica, utilizou-se dos planos de simetria para reduzir o tamanho do modelo. Com isso foram impostas como condição de contorno as restrições de deslocamento dos nós conforme ilustrado na Figura 6.

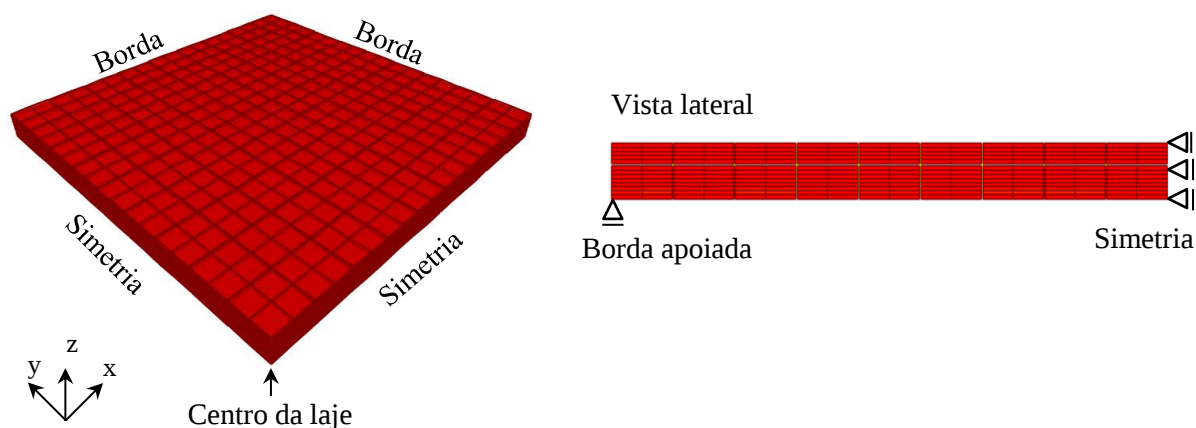


Figura 6: Condições de apoio aplicada nos modelos.

Para levar em conta a sequência construtiva e conseguir observar como a camada de reforço seria solicitada com o aumento da carga, a análise estrutural foi feita em duas etapas utilizando a ferramenta *nonlinear staged construction*. A primeira análise foi feita com a laje sem o reforço submetida a uma carga uniformemente distribuída de valor igual ao seu peso próprio, na segunda com a laje já deformada foi adicionada a camada de reforço, conectando os nós da face superior da laje com os nós da face inferior do reforço e aplicou-se o restante da carga até que se atingisse o início do escoamento da armadura de flexão.

Com relação a discretização, após vários testes, percebeu-se que a malha formada por elementos de concreto 5cm x 5cm x 1cm, com elementos de ligação a cada dois elementos de concreto, como ilustrado na Figura 7, apresentava uma boa relação entre precisão e esforço computacional.

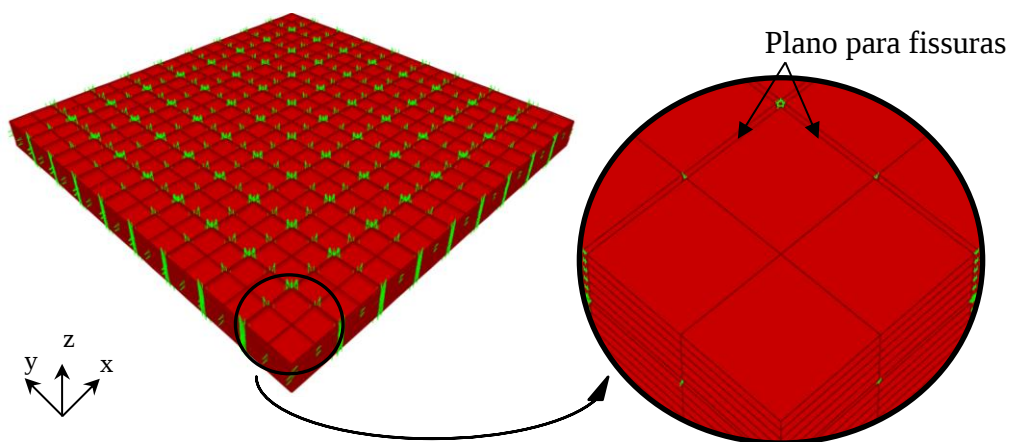


Figura 7: Detalhe da malha dos modelos numéricos.

Para avaliar a distribuição das tensões de cisalhamento na interface laje-reforço, criou-se um modelo numérico com conectores de cisalhamento. Neste modelo foram inseridos elementos de ligação tipo “linear”, entre a laje e o reforço, como ilustra a Figura 8.

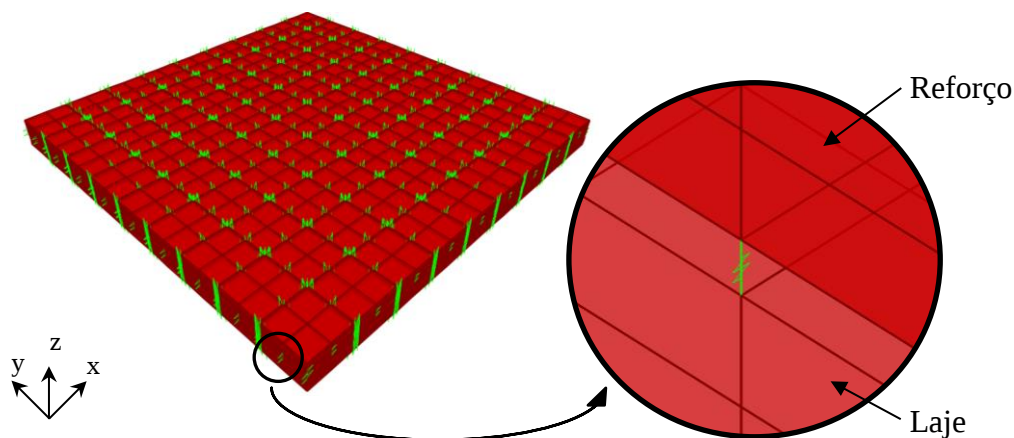


Figura 8: Vinculação entre os elementos da laje com o reforço.

Nesses elementos de ligação a direção axial (U1) foi marcada como fixa e as direções U2 e U3, que estão no plano da interface, foi atribuído uma rigidez nula. Dessa maneira, nenhuma forma de atrito ou aderência foi considerada, ficando à cargo dos conectores de cisalhamento a transferência das tensões de cisalhamento entre a laje e o reforço.

Estudos preliminares em modelos com conectores de cisalhamento mostraram que quando se cria, no modelo numérico, uma interface livre de qualquer forma de atrito e que utiliza apenas conectores de cisalhamento como meio de ligação, a camada de reforço tende a deslizar sobre a laje produzindo uma pequena deformação nos conectores de cisalhamento que aumentam significativamente as tensões normais no reforço e na armadura de flexão.

Para garantir o comportamento monolítico do modelo com conectores de cisalhamento seria necessário adotar uma taxa de conectores por metro quadrado muito elevada, deixando dessa forma de se reproduzir a realidade, por esse motivo optou-se por extrair do modelo com conectores de cisalhamento apenas o panorama da distribuição dos esforços cisalhamento transmitidas por eles. A área de aço cruzando a interface do modelo com conector de cisalhamento foi $4,91\text{cm}^2/\text{m}^2$, determinada de acordo com o *Model Code for Concrete Structure* 2010.

As características dos modelos numéricos analisados são apresentadas na Tabela 2. As lajes M1 e M2 são semelhantes as ensaiadas por Pires (2003) e Ibrahim *et al.* (2014), respectivamente, já as lajes M3 e M4 são lajes quadradas com os quatros lados apoiados submetidas à carga uniformemente distribuída.

Tabela 2: Detalhamento das lajes modeladas.

Laje	Dimensões (cm)	h (cm)	r (cm)	A_s (cm ² /m)	E_s (GPa)	E_c (GPa)
M1	150x60	10,0	5,0	7,85	199,5	25,9
M2	150x50	8,0	4,0	6,28	200,0	28,0
M3	410x410	10,0	4,0	2,39	200,0	24,0
M4*	410x410	10,0	4,0	2,39	200,0	24,0

*Modelo com conectores de cisalhamento.

Os modelos numéricos baseados nas lajes ensaiada por Pires (2003) e Ibrahim *et al.* (2014) foram construídos para verificar se o comportamento do modelo numérico, até o início do escoamento, acompanhava o experimental. Os gráficos das Figura 9, 10 e 11 mostram essa comparação e atestam a validade dos modelos numéricos.

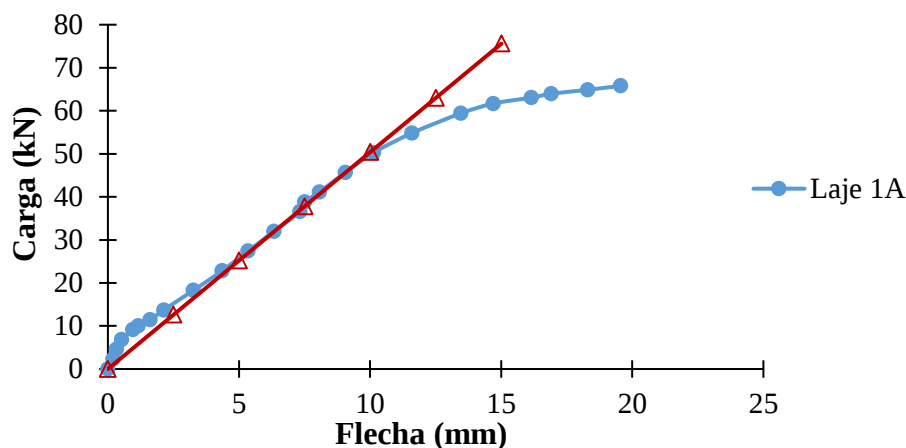


Figura 9: Gráfico com os resultados experimentais obtidos por Pires (2003) da laje não reforçada 1A e os resultados obtidos com o modelo numérico M1 (sem adicionar o reforço).

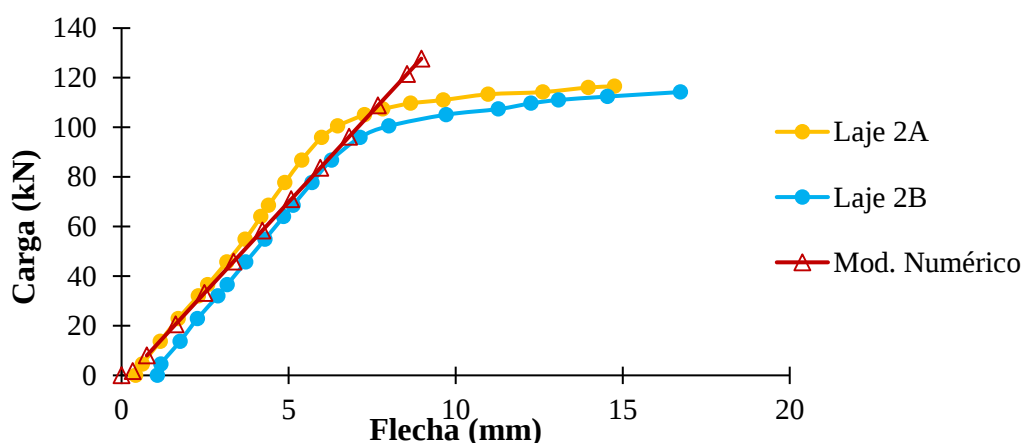


Figura 10: Gráfico com os resultados experimentais obtidos por Pires (2003) das lajes reforçada 2A e 3B e os resultados obtidos com o modelo numérico M1.

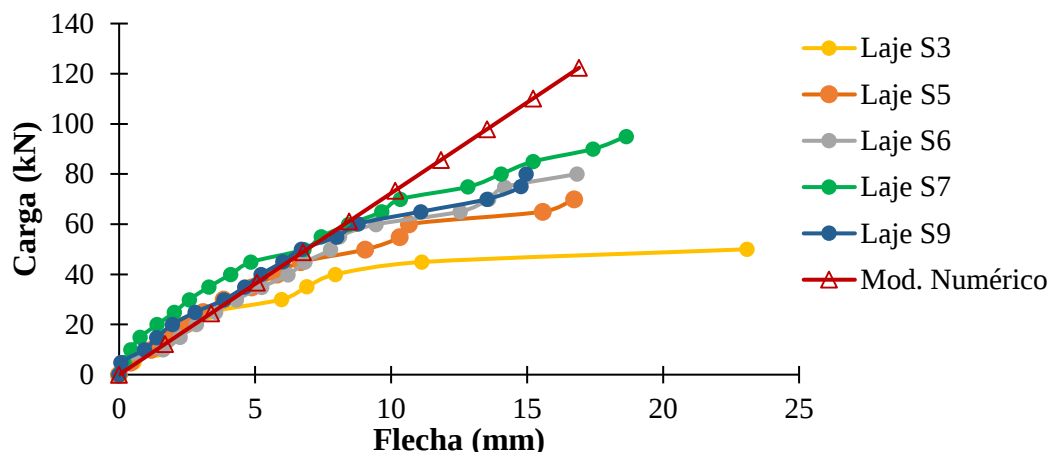


Figura 11: Gráfico com os resultados experimentais obtidos por Ibrahim *et al.* (2014) para as lajes reforçada S3, S5, S6, S7, S9 e os resultados obtidos com o modelo numérico M2.

4.1 Resultados dos modelos numéricos

Para compreender como as tensões normais nas lajes reforçadas se distribuem ao longo da sua altura com o aumento da carga foi traçado os gráficos das Figura 12 e 13, onde nota-se que a medida que a carga cresce as tensões na camada do reforço aumentam e as da laje diminuem. Percebe-se também que a profundidade da linha neutra diminui deslocando-se em direção ao reforço.

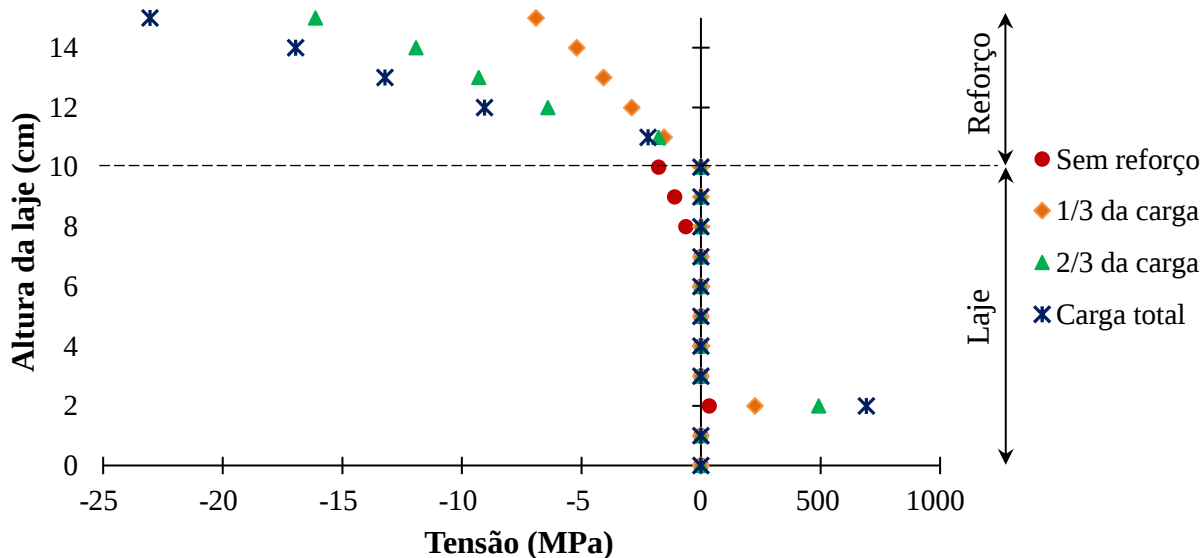
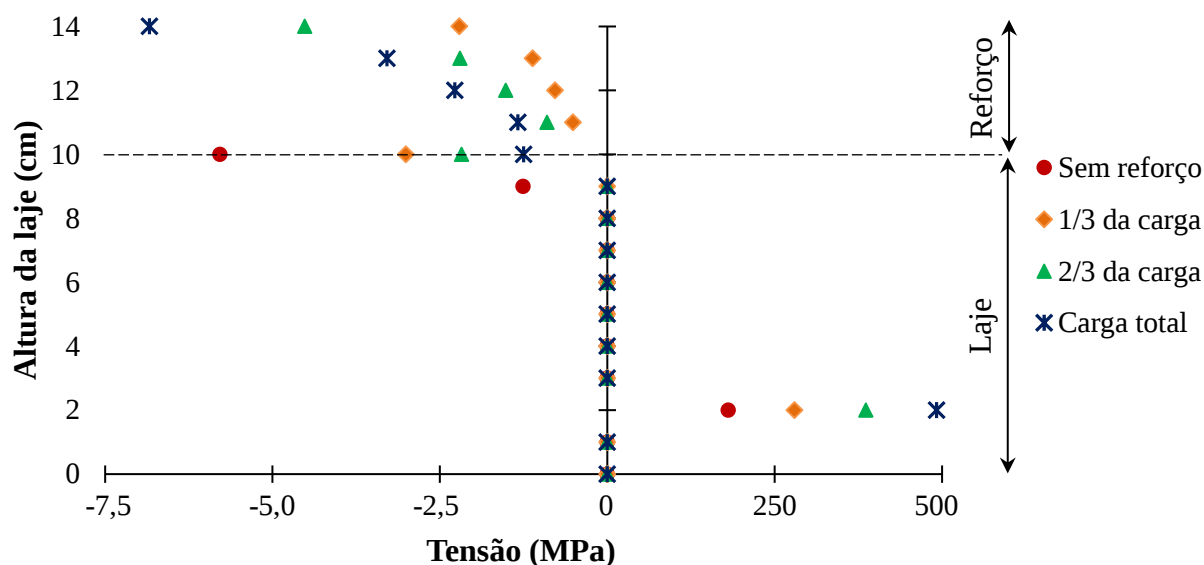
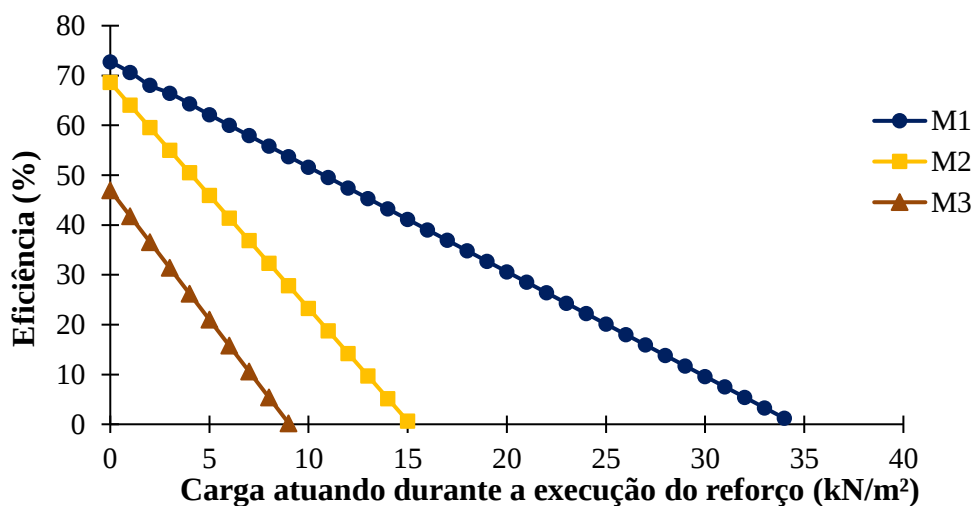


Figura 12: Evolução das tensões normais no centro da laje M1 com o aumento da carga (a carga total é a carga de início do escoamento).



Baseado na metodologia proposta foi construído o gráfico da Figura 14, que tem como objetivo mostrar a influência da carga aplicada na laje durante a execução do reforço na eficiência do mesmo, para determinar a eficiência fez-se a relação entre os momentos resistente da laje com e sem o reforço como mostrado na Eq. 12. Percebe-se que quanto menos solicitada estiver a laje durante a aplicação do reforço maior será a eficiência. A comparação entre as curvas mostra que as lajes com maior taxa de armadura são as mais eficientes e menos sensíveis as cargas que atuam durante a execução do reforço.

$$Eficiência = 1 - \frac{M_{Rd,r}}{M_{Rd}} \quad (12)$$



Do modelo com conectores de cisalhamento, laje M4, extraiu-se os esforços cisalhantes nos conectores de cisalhamento onde nota-se que regiões da laje com maior força cortante são

as que mais solicitam os conectores de cisalhamento (ver Figura 15). Ou seja, os conectores localizados no meio das bordas apoiadas da laje são os mais solicitados.

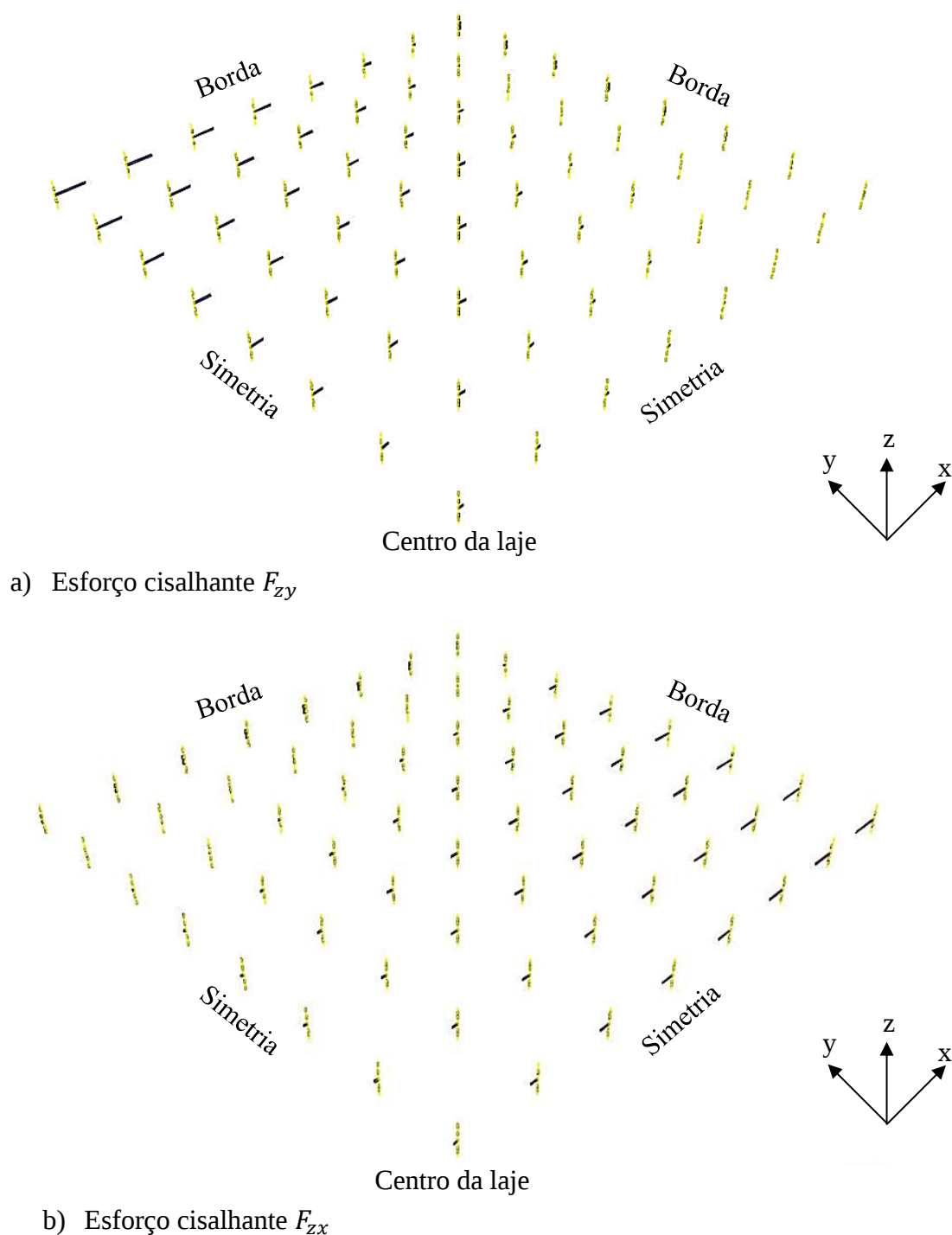


Figura 15: Forças de cisalhamento nos conectores de cisalhamento, laje M4.

5 CONCLUSÕES

A técnica de reforço estrutural estudada neste artigo mostrou-se eficiente para os casos em que sua aplicação é viável, aumentando significativamente a resistência à flexão da laje. A metodologia de cálculo proposta para determinar o momento resistente das lajes reforçadas apresentou boa precisão quando comparada com resultados experimentais obtidos por outros pesquisadores.

Os modelos numéricos confirmaram que após a cura do reforço toda a carga aplicada na laje passa a ser resistida pela camada de reforço em conjunto com a armadura de flexão e devido o deslocamento da linha neutra em direção ao reforço as tensões de compressão do concreto da laje tendem a diminuir. Confirmaram também que as regiões com maiores variações de momento fletor são as que mais solicitam os conectores de cisalhamento.

Tanto os modelos numéricos utilizados neste trabalho, quanto os ensaios experimentais realizados por outros autores mostraram que o êxito dessa técnica está condicionado ao comportamento monolítico da laje reforçada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ e a CAPES pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. *NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

Calixto, J. M., Pires, E. F., Lima, S. A., Piancastelli, E. M. *Behavior of reinforced concrete slabs strengthened in flexure by concrete overlays*. ACI Structural Journal, Vol. 229, 2005, p. 389-406.

Campos, C. O. *Análise experimental de lajes de concreto armado reforçadas pela face superior*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 2000.

Costa, R. D. G. *Análise experimental de lajes treliçadas armadura mínima longitudinal de tração e reforço pela face superior*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 2006.

Fédération Internationale du Béton. *The fib Model Code for Concrete Structure*. Lausanne, Switzerland: CEB-FIB, 2010.

Guerrante, I. C. *Análise numérica de vigas de concreto armado reforçadas por encamisamento parcial*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 2013.

Ibrahim, W.; El-Adawy, M.; Ghanem, G. *Behaviour of reinforced concrete slabs strengthened by concrete overlays*. Johannesburg: University of Johannesburg, 2014.

Pires, E. F. *Comportamento e desempenho do reforço à flexão de lajes de concreto armado através do aumento da seção na região comprimida*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, 2003.