REFORÇO À PUNÇÃO EM LAJES LISAS COM PRFC ATRAVÉS DOS SISTEMAS STICH E DOWEL

FLAT SLAB STRENGTHENING FOR THE PUNCHING SHEAR USING CRFP THROUGH THE STICH AND DOWEL SYSTEMS

T. B. SILVA
Graduando FAPAC/ITPAC-PORTO
FAPAC PORTO
Tocantins; Brasil
thais_silva15@hotmail.com

M. J. M. PEREIRA FILHO
Doutorando PECC/FT/UNB
UNB
Brasília; Brasil
manoelmangabeira@hotmail.com

F. R. ALVES
Graduando FAPAC/ITPAC-PORTO
FAPAC PORTO
Tocantins; Brasil
felipeformatura@hotmail.com

D. F. A. SANTOS
Professor Msc. FAPAC/ITPAC-PORTO
FAPAC PORTO
Tocantins; Brasil
eng.prof.santos@gmail.com

M. V. P. FREITAS
Mestrando PPGEC/ITEC/UFPA
UFPA
Pará; Brasil
mvpengenharia@hotmail.com

M. P. FERREIRA
Professor Dr. FEC/ITEC/UFPA
UFPA
Pará; Brasil
mpina@ufpa.br

RESUMO

A ligação entre a laje e o pilar é um ponto crítico no projeto de edifícios com lajes lisas, devido ao risco de ruptura por punção. Durante o uso destas edificações, é possível que surja a necessidade de reforçar esta região, ou por falhas nas etapas de projeto, execução, e manutenção, ou ainda por mudanças no uso da edificação que requeiram o aumento da capacidade de carga das lajes. Neste caso, algumas técnicas estão disponíveis na literatura e este artigo tem por objetivo discutir e avaliar o desempenho daquelas que envolvem a adição de armaduras de cisalhamento com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC). Para isso, foi montado um banco de dados, a partir de pesquisas na literatura, com resultados de 61 ensaios em lajes lisas reforçadas com PRFC, nas técnicas de costura (Stitch) e de pino (Dowel). Estes resultados foram comparados com resultados teóricos obtidos segundo as normas ACI 318 (2014), EUROCODE 2 (2010) e NBR 6118 (2014), considerando adaptações recomendadas no ACI 440.2R (2008), a fim de verificar a confiabilidade das normas pelo método de COLLINS (2001). Atráves das análises realizadas verificou-se que a técnica de reforço dowel apresentou resultados com melhores tendencias, e que a técnica stich tende a prejudicar a confiabilidade das normas. Além disso, observou-se que a norma que apresenta melhor estimativa é a EUROCODE 2 (2010), apresentando mais resultados na faixa de segurança apropriada, e que as estimativas da ACI 318 (2014) tendem a ser conservadoras, enquanto que a norma NBR 6118 (2014) foi a que apresentou mais resultados na faixa de Baixa segurança.
Palavras-chave: Reforço. Lajes lisas. Punção. PRFC.

ABSTRACT

The connection between the slab and the pillar is a critical point in the design of buildings with this structural system due to the risk of collapse by puncturing. During the use of these buildings, it is possible that there is a need to strengthen this area, or flaws in the design, build, implementation, and maintenance, or by changes in the use of the building that require the increased load capacity of the slabs. In this case, some techniques are available in the literature and this paper aims to discuss and evaluate the performance of those involving the addition of shear reinforcement with carbon fiber reinforced polymers (CRFP). For this, a database was set up, from literature researches, with results of 61 tests on reinforced flat slabs with carbon fiber reinforced polymer (CRFP) in the stirrup (Stitch) and stud (Dowel) techniques. These Theoretical results were compared with results obtained according to ACI 318 (2014), EUROCODE

2 (2010) and NBR 6118 (2014), considering recommended adaptations in ACI 440.2R (2008), in order to verify the reliability of the standards for the method of COLLINS (2001). Through the analysis performed, it was verified that the dowel reinforcement technique presented results with better tendencies, and that the stich technique tends to impair the reliability of the norms. In addition, we note that the norm with the best estimate is a EUROCODE 2 (2010), presenting results in the appropriate safety range, and that the estimates of ACI 318 (2014) tend to be conservative, whereas the norm NBR 6118 (2014) was found in the Low Security list.
Keywords: Strengthening. Flat slab. Punching shear. CRFP.

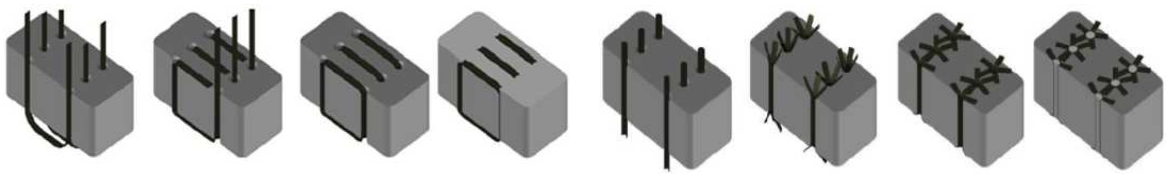
1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm se destacado o sistema com laje lisas, por apresentarem diversas vantagens. Dentre elas, a versatilidade geométrica é a principal, pois por não possuir vigas a estética torna-se mais agradável, possibilitando ao arquiteto maior distribuição do espaço. Outros importantes benefícios são: a simplificação das formas, maior agilidade no processo construtivo, facilitação de instalações complementares, e redução da altura total do edifício, possibilitando aumentar o número de pavimentos. Como todo sistema este também possui algumas desvantagens, das quais se destacam, a redução na rigidez quanto aos esforços horizontais, a diminuição da rigidez global do edificío, as elevadas tensões causadas por esforços de flexão e cisalhamento na região de ligação laje-pilar, ocasionando assim um colapso parcial ou total da construção, sem avisos prévio, causando um tipo de ruptura denominado de punção, que é um modo de ruptura brusca. Além disso, falhas nas fases de projeto, construção, uso e manutenção ou ainda mudanças na finalidade de um edifício podem gerar a necessidade de reforço estrutural.
Para aumentar a resistência e a ductilidade de uma laje lisa uma das possibilidades é o uso de armaduras de combate a punção. A maioria dos métodos tradicionais de reforço ferem os princípios da estética agradável. Os polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC), além de preservar os aspectos estéticos, contribuem na ductilidade e na resistência ao cisalhamento,
Devido as dificuldades encontradas nesse tipo de sistema estrutural este artigo têm como objetivo apresentar e discutir o desempenho das normas ACI 318 (2014), NBR 6118 (2014) e EUROCODE 2 (2010) na verificação da resistência à punção de ligações laje-pilar com propostas de adaptações nas normas para que elas possam ser usadas para a verificação da resistência de lajes lisas de concreto armado reforçadas à punção com PRFC.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas de Reforço com PRFC

Os polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como opção de reforço à punção de ligações laje-pilar, contribuem tanto na resistência ao cisalhamento quanto na ductilidade (SISSAKIS E SHEIKH, 2007). Segundo Santos (2014), a natureza flexível deste material permite que ele seja fixado de diversas formas, podendo ser ancorado em forma de laço (técnica stitch), ou ainda sendo utilizado como pino ancorado nas faces da laje (técnica dowel). Na técnica stitch, as mantas de PRFC são cortadas em tiras, saturadas com resina e inseridas na laje através de furos formando laços fechados similares à estribos (ver Figura 1a). Após a sua colocação, os furos devem ser preenchidos com epóxi ou argamassa de alto desempenho. A técnica dowel consiste em fabricar pinos a partir do corte de mantas de PRFC em faixas retangulares, como ilustrado na Figura 1b. Após a saturação com resina epóxi, as mantas de PRFC são enroladas, formando uma espécie de tubo. Estes tubos são instalados dentro de furos na laje com o auxílio de uma guia, removida logo após o posicionamento do reforço. Posteriormente, as extremidades superior e inferior do tubo de PRFC são cortadas e abertas em pétalas e coladas na superfície da laje a fim de garantir a ancoragem, preenchendo-se os furos com epóxi ou argamassa de alto desempenho.



a) Sistema stitch b) Sistema dowel

Figura 1 – Tipos de reforço com PFRC para ligações laje-pilar (adaptado de Santos [16])

2.2 Prescrições Normativas

2.2.1 ACI 318 (2014)

Segundo o ACI 318 (2014) pode-se verificar a resistência a punção em lajes lisas de concreto armado por meio da verificação das tensões de cisalhamento em um perímetro de controle afastado de uma distância d/2 das faces do pilar ou área carregada. A equação que expressa a resistência à punção de uma laje lisa sem armaduras de cisalhamento é expressa pela equação (1) a (3), sendo adotado o menor valor entre elas.

$$V_{R,c} = \left(1 + \frac{2}{\beta_C}\right).\frac{1}{6}.\sqrt{fc'}.b_0.d \quad (1)$$

$$V_{R,c} = \left(2 + \frac{\alpha_s.d}{b_0}\right).\frac{1}{12}.\sqrt{fc'}.b_0.d \quad (2)$$

$$V_{R,c} = \frac{1}{3}.\sqrt{fc'}.b_0.d \quad (3)$$

Onde:
βc é a razão entre a maior e a menor dimensão do pilar; $\propto_s$ é uma constante que assume valor igual a 40 para o caso de pilares internos, 30 para pilares na borda da sapata e 20 para pilares no canto da sapata. fc' é a resistência à compressão do concreto, e é limitada em no máximo 69 MPa; b_0 é o comprimento de um perímetro de controle à d/2 da face do pilar; d é a altura útil da laje; Em casos em que a laje apresente armaduras de cisalhamento existem três tipos de modos de ruptura: superfície de ruptura cortando as armaduras $(V_{R,cs})$, superfície de ruptura fora da região das armaduras de cisalhamento $(V_{R,out})$, e ruptura por esmagamento da biela comprimida nas proximidades do pilar $(V_{R,max})$, equações 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

$$V_{R,cs} = V_{R,c} + V_{R,s} \quad (4)$$

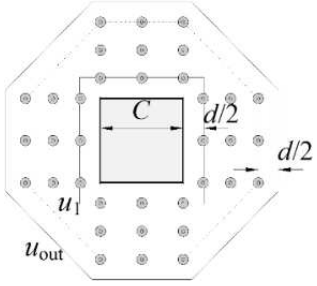
$$V_{R,cs} = \left(\frac{1}{4}\cdot\sqrt{f_c'\cdot u_1\cdot d}\right) + \left(\frac{d}{S_r}\cdot A_{sw}\cdot f_{ys,w}\right) \quad (5)$$

$$V_{R,out} = \frac{1}{6}\cdot\sqrt{f_c'}\cdot u_{out}\cdot d \quad (6)$$

$$V_{R,max} = \begin{cases} \frac{2}{3}\cdot\sqrt{f_c'}\cdot u_1\cdot d \text{ se } S_r \le 0{,}5\cdot d \\ \frac{1}{2}\cdot\sqrt{f_c'}\cdot u_1\cdot d \text{ se } 0{,}5\cdot d < S_r \le 0{,}75\cdot d \end{cases} \quad (7)$$

Onde:
A_{sw} é a área de aço de uma camada de armadura de cisalhamento; S_r é a distância entre as camadas, ressaltando que $d/\ S_r$ deve ser menor ou igual ao número total de camadas de armaduras de cisalhamento conforme as equações 6, 7 e 8 respectivamente; $f_{ys,w}$ é a tensão de escoamento da armadura de cisalhamento, limitada em $f_{ys,w} \le 420\ MPa$; u_{out} é o perímetro externo definido a uma distância d/2 da camada mais externa de armaduras, como pode ser identificado na Figura 2.

Figura 2 – Detalhes tipicos para arranjos para armaduras de cisalhamento (ACI 318, 2014).



2.2.2 EUROCODE 2 (2010)

Segundo a EUROCODE 2 (2010) é recomendado que para verificar a resistência a punção em lajes lisas de concreto armado sem armadura de cisalhamento é necessário fazer um perímetro de controle afastado 2d da face do pilar ou área carregada. Para obter a estimativa da resistência a punção de uma laje com essas características é utilizado a equação 8.

$$V_{R,cs} = 0,18.\xi.\left(100.\rho.f_c'\right)^{1/3}.u_1.d \quad (8)$$

Onde:
é a altura útil da laje; f_c é a resistência a compressão do concreto (<90 MPa); ρ é a taxa de armadura de flexão tracionada média da laje, é calculado utilizando a equação: $\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \leq 0,02$, onde ρ_x e ρ_y são as taxas nas direções x e y, respectivamente. É considerado as barras que seguem um afastamento 3d das faces do pilar; ξ é o size effect, sendo: $1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$ com d em mm; u_1 é o comprimento do perímetro de controle afastado 2d das faces do pilar.
Em casos de lajes com armadura de cisalhamento a EUROCODE 2 (2010) também define três possíveis modos de ruptura, sendo, a superfície de ruptura cortando as armaduras $(V_{R,cs})$; superfície de ruptura fora da região das armaduras de cisalhamento $(V_{R,out})$; e ruptura por esmagamento da biela comprimida nas proximidades do pilar $(V_{R,max})$ definidas pelas equações 9, 10 e 11 respectivamente.

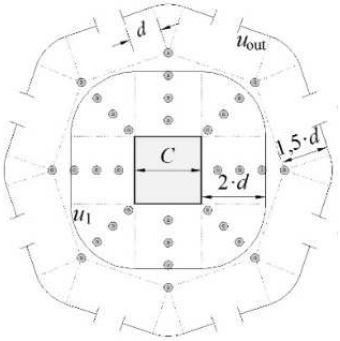
$$V_{R,cs} = 0,75.V_{R,c} + \left(1,5.\frac{d}{S_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,ef}\right) \quad (9)$$

$$V_{R,cs} = 0,18.\xi.\left(100.\rho.f_c'\right)^{1/3}.u_{out}.d \quad (10)$$

$$V_{R,max} = 0,3.f_c'.\left(1 - \frac{f_c'}{250}\right).u_0.d \quad (11)$$

Onde:
u_0 é o perímetro do pilar; u_1 é o comprimento de um perímetro de controle afastado à $2 \cdot d$ da face do pilar; u_{out} é o comprimento do perímetro de controle afastado à $1,5 \cdot d$ da camada mais externa da armadura de cisalhamento, respeitando – se um limite de $2 \cdot d$ para distância máxima entre duas linhas concêntricas de studs concêntricas; S_r é a distância entre as camadas de armaduras de cisalhamento; A_{sw} é a área das armaduras de cisalhamento por camada; $f_{yw,ef}$ é a tensão efetiva na armadura de cisalhamento, obtida em:

Figura 3 – Detalhes tipicos para arranjos para armaduras de cisalhamento (EUROCODE 2, 2010).

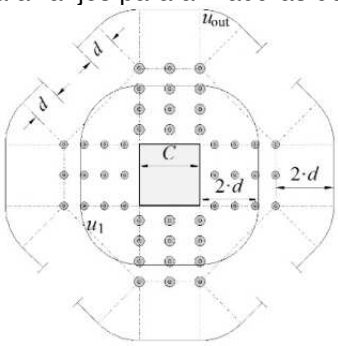


2.2.2 NBR 6118 (2014)

A NBR 6118 (2014) é baseada nas recomendações da norma EUROCODE 2. Uma das principais diferenças entre as normas, é que o size effect não está limitado no valor de 2,0. O modelo de norma brasileiro também não limita a taxa de armadura tracionada em 0,02, permitindo também que seja

adicionado valores superiores. Outra importante mudança é com relação a geometria e comprimento do perímetro de controle fora da região das armaduras de cisalhamento. Neste caso, a norma brasileira recomenda que seja adotado o afastamento 2d da última camada de armaduras, e que este seja circular, e não poligonal como na Eurocode 2, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Detalhes tipicos para arranjos para armaduras de cisalhamento (NBR 6118, 2014).



3. METODOLOGIA

Não existem recomendações normativas para a estimativa da resistência de lajes reforçadas à punção com PRFC. No caso de execução de reforços com PRFC, o ACI 440.2R (2008) é a principal referência e apresenta recomendações para aplicações de reforço ao cisalhamento em vigas e pilares. Para verificar a confiabilidade dessa referência e das normas foi coletado um banco de dados com 61 lajes lisas reforçadas com PRFC de diversos autores disponíveis na literatura. As características em resumo das lajes lisas de cada autor encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das lajes lisas do banco de dados.

Autores	Nº ensaios	Técnica	b (mm)	d (mm)	ρ (%)	c (mm)	Seção	f_c (MPa)	V_u (KN)
[1]	4	Dowel	2000	114	1,41	125-375	R -S	30-33	564-657
[2]	5	Dowel	2000	114	1,41	300	S	26-35	592-657
[3]	9	Stich	2135	114	1,92	304	S	28,3	595-778
[4]	2	Stich	1020	57	0,52	150	S	24,1	139-155
[5]	3	Dowel	1000	47	1,07	85	S	39,7	105-125
[6]	24	Stich	1500	120	1,49-2,23	200	S	27-43	550-872
[7]	3	Stich	2500	143-145	1,44-1,47	300	S	50	838-929
[8]	8	Stich / Dowel	2500	135-145	1,44-1,55	300	S	48-58	818-1185
[9]	3	Stich / Dowel	2800	142-145	1,44-1,47	300	S	48	825-899

Obs.: [1] ERDOGAN et al. (2011); [2] ERDOGAN et al. (2010); [3] BINICI e BAYRAK (2003); [4] BINICI e BAYRAK (2005); [5] SILVA e RODRIGUES (2013); [6] SISSAKIS (2007); [7] LIMA (2012); [8] NICÁCIO (2013); [9] R. LI et al. (2007).

O método de análise de resultados tem como alvo conferir os critérios de dimensionamento exemplificado pelas normas com os resultados experimentais, medindo a confiabilidade das normas, para isso será realizado a razão entre as forças de ruptura e forças resistentes, V_u/V_{uteo}, respectivamente. A força V_u é o esforço último de punção medido em laboratório, já a força V_{uteo}, pode ser definida como a menor força resistente última, de acordo com os critérios normativos estudados. Para concretizar a análise comparativa dos esforços de puncionamento adotados pelas normas NBR 6118 (2014), EUROCODE 2 (2010) e ACI 318 (2014), serão empregadas proporções estatísticas habituais como: média (M), a mediana (M_d), o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

A fim de estudar a adequação e comparação entre equações normativas de dimensionamento a punção em peças de concreto armado, foi introduzido um abrangente estudo realizado por Collins (2001), pois neste é desenvolvido um procedimento que considera distintos critérios normativos de dimensionamento e os classificam, analisando a segurança, a exatidão e a economia. Através dos métodos de Collins (2001) é classificado os tipos de procedimentos de dimensionamento em escala de demérito. É considerado dados sobre segurança, precisão e economia, assim é gerado um escore cada faixa da relação V_u/V_{teo}, conforme a Tabela 2. Esse escore tem como fundamento que uma relação V_u/V_{teo} com valor inferior a 0,5 é perceptível que a segurança é inferior a uma acima de 2,0. Entretanto, importâncias muito conservativas, por serem antieconômicas, são penalizadas com escore igual a 2,0, assim correspondendo a uma relação com a mesma classificação como de baixa segurança. Quanto maior o valor da soma total, pior será a classificação.

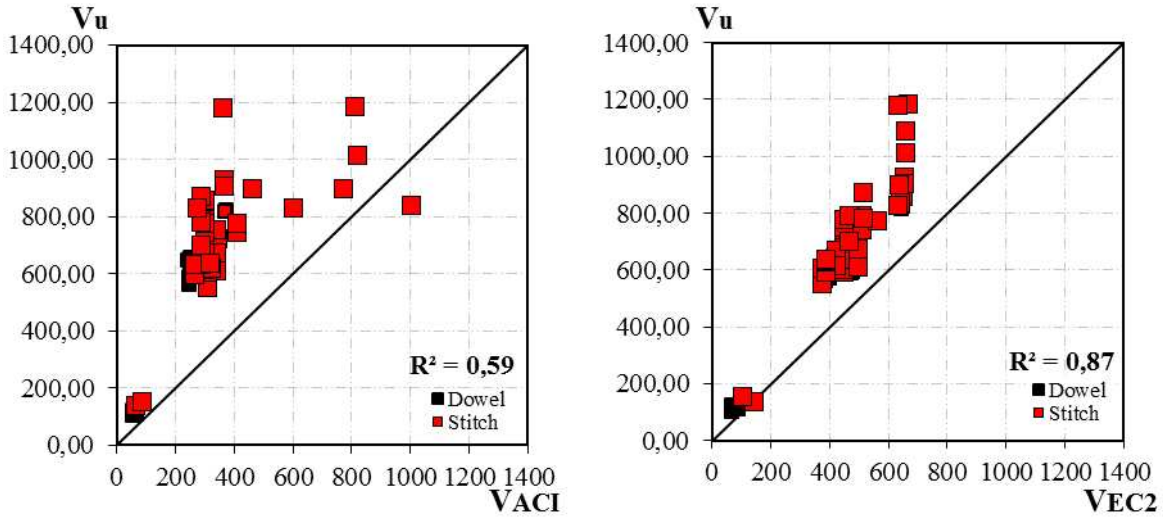
Tabela 2 – Escala de Demérito, segundo COLLINS (2001).

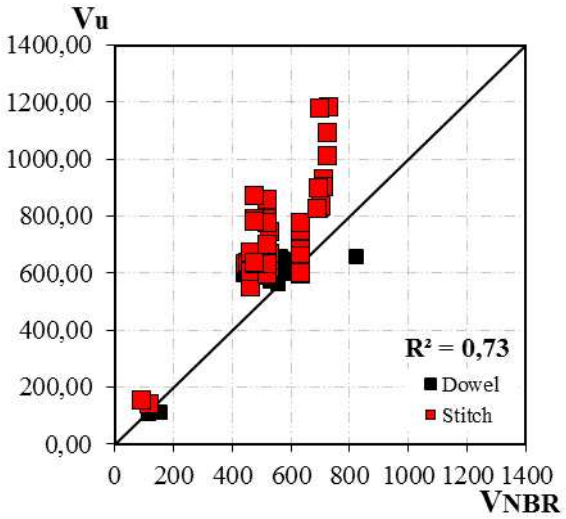
V_u/V_{teo}	Escore	Classificação
< 0,50	10	Extremamente Perigosa
0,50|----0,65	5	Perigosa
0,65|----0,85	2	Baixa Segurança
0,85|----1,30	0	Segurança Apropriada
1,30|----2,00	1	Conservativa
≥ 2	2	Extremamente Conservativa

5. RESULTADOS

A Figura 5 apresenta as avaliações das normas quanto a dispersão dos resultados para a ACI 318 (2014), EUROCODE 2 (2010) e NBR 6118 (2014). De modo geral, as recomendações da EUROCODE 2 (2010) foram as que apresentaram uma menor dispersão dos seus resultados e um maior R^2. Porém a NBR 6118 (2014) foi a que apresentou uma menor média dos resultados, indicando que a razão V_u/V_{teo} está mais próxima da igualdade do que as demais normas. A norma ACI 318 (2014) foi a que se mostrou a mais dispersa das recomendações possivelmente por não considerar a taxa de armadura de flexão e o efeito de escala (size effect), levando a consideração da resistência á punção apenas como parâmetro a resistência do concreto e a armadura de cisalhamento.

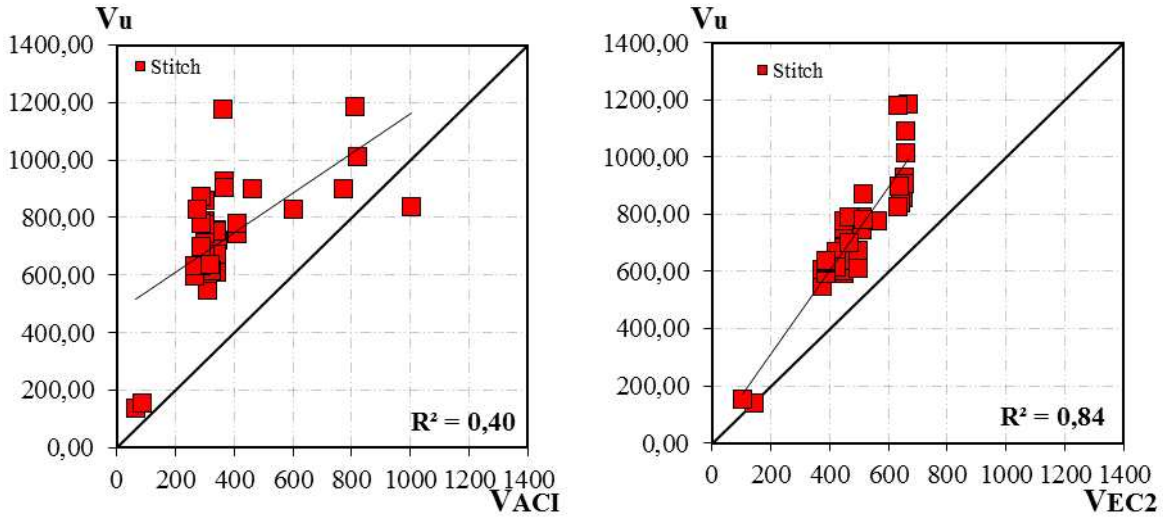
Figura 5 – Comparação dos resultados de ensaios com as recomendações normativas.

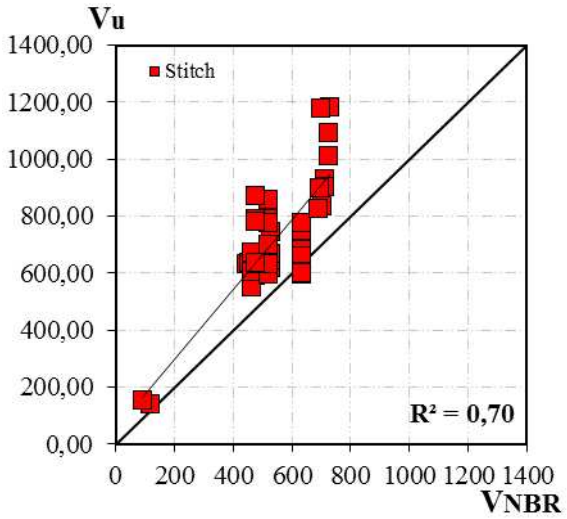




A Figura 6 apresenta as avaliações das normas quanto a dispersão dos resultados para a ACI 318 (2014), EUROCODE 2 (2010) e NBR 6118 (2014), para o sistema stich. De modo geral, as recomendações da EUROCODE 2 (2010) foram as que apresentaram uma menor dispersão dos seus resultados e um maior R^2 = 0,84. A norma ACI 318 (2014) foi a que se mostrou a mais dispersa das recomendações, e o pior R^2, com valor de 0,40, mostrando que esta norma para esse sistema apresenta um péssimo desempenho.

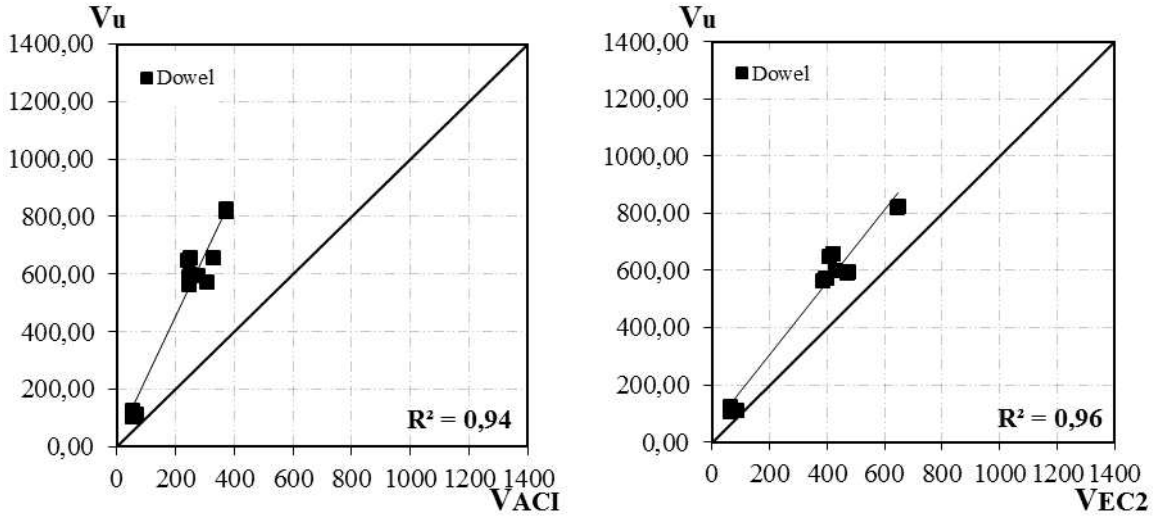
Figura 6 – Comparação dos resultados de ensaios tipo stitch com as recomendações normativas.

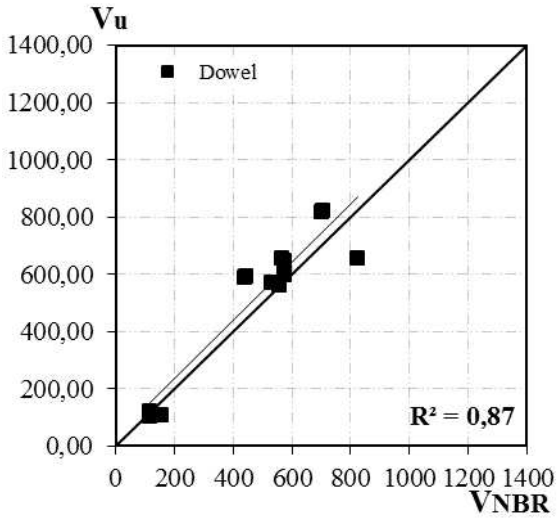




A Figura 7 apresenta as avaliações das normas quanto a dispersão dos resultados para a ACI 318 (2014), EUROCODE 2 (2010) e NBR 6118 (2014), para o sistema dowel. De modo geral, as recomendações da EUROCODE 2 (2010) foram as que apresentaram uma menor dispersão dos seus resultados e um maior R², com valor de 0,96. A NBR 6118 (2014) foi a que apresentou o menor R², tendo um valor de 0,87. Já a norma ACI 318 (2014) apresentou um R² bem próximo da EUROCODE 2 (2014), na ordem de 0,94. Sendo assim, demostrando que está norma para lajes lisas que consideram o sistema dowel apresenta melhor tendência se comparada ao sistema stich.

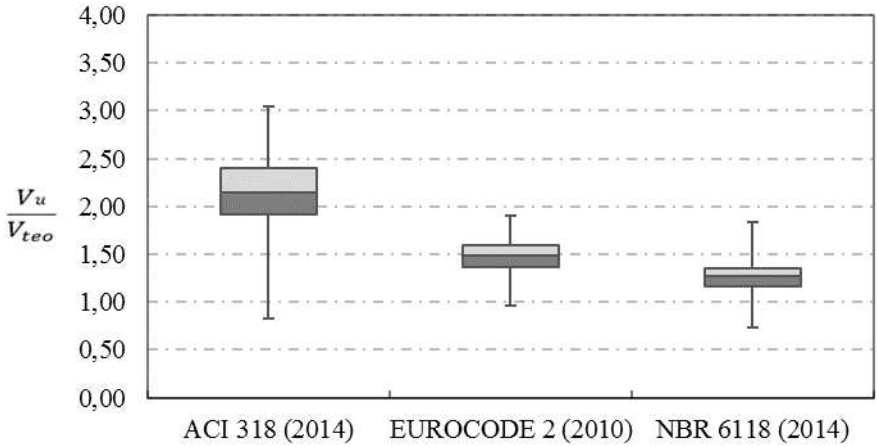
Figura 7 – Comparação dos resultados de ensaios tipo dowel com as recomendações normativas.





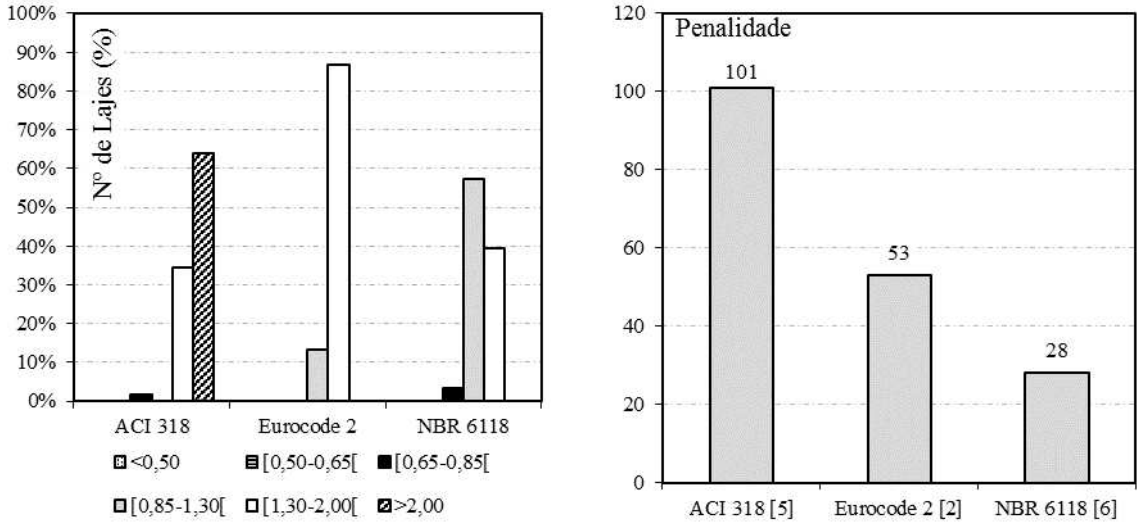
A Figura 8 apresenta o diagrama de caixas. Os quartis dividem um conjunto de dados em quatro partes na escala. O retângulo mais claro, representa a diferença entre a mediana e o quartil superior. O retângulo mais escuro representa o espaço entre o quartil inferior e a mediana. As linhas acima e abaixo dos retângulos representam os valores mínimos e máximos. Percebe-se que a norma NBR 6118 (2014) foi a que apresentou a menor mediana, porém o menor resultado mínimo. A norma EUROCODE 2 (2010) foi a que apresentou menor dispersão. Já a ACI 318 (2014) foi a que apresentou a maior mediana e dispersão, bem como o maior valor de estivimativa.

Figura 8 – Avaliação da precisão dos resultados diagrama de caixas (box and whiskers).



Pelo Critério de Collins, a norma que melhor se adequou foi a NBR 6118 (2014), a qual de acordo com a Figura 9 apresentou a menor média, o coeficiente de variação foi de 17%, seus resultados predominaram nas faixas de Segurança Apropriada e Conservadora, mostrando ter um dimensionamento mais próximo da realidade. A norma EUROCODE 2 (2010) também obteve resultados a favor da segurança, no entanto a mesma foi penalizada por possuir valores predominantemente na faixa Conservadora, porém a média obtida foi de 1,48 e o coeficiente de variação foi o menor, na ordem de 12%. Já o ACI 318 (2014) obteve os piores resultados, pois se mostrou Conservadora e Extremamente Conservadora, sendo assim bastante penalizada, com uma média de 2,14 e um CV de 19%.

Figura 9 – Resultado do critério de Collins (2001).

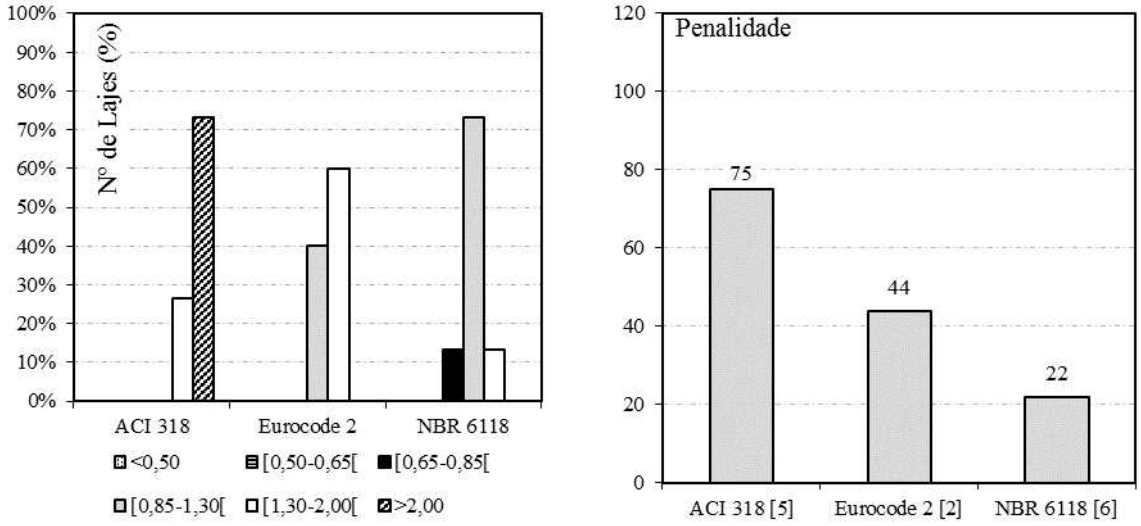


a) Distribuição das lajes

b) DPC (Collins, 2001)

Analisando a técnica de reforço stichl pelo Critério de Collins (ver Figura 10), a norma que melhor se adequou foi a NBR 6118 (2014), apresentou uma média de 1,33 e o coeficiente de variação de 15%, seus resultados predominaram nas faixas de Segurança Apropriada e Conservadora. A norma EUROCODE 2 (2010) obteve resultados predominantemente na faixa Conservadora, a média obtida foi de 1,50 e o coeficiente de variação de 11%. Já o ACI 318 (2014) obteve os piores resultados, pois se mostrou Conservadora e Extremamente Conservadora, sendo assim bastante penalizada, com uma média de 2,13 e um CV de 21%.

Figura 10 – Resultado do critério de Collins (2001), pelo sistema stich.



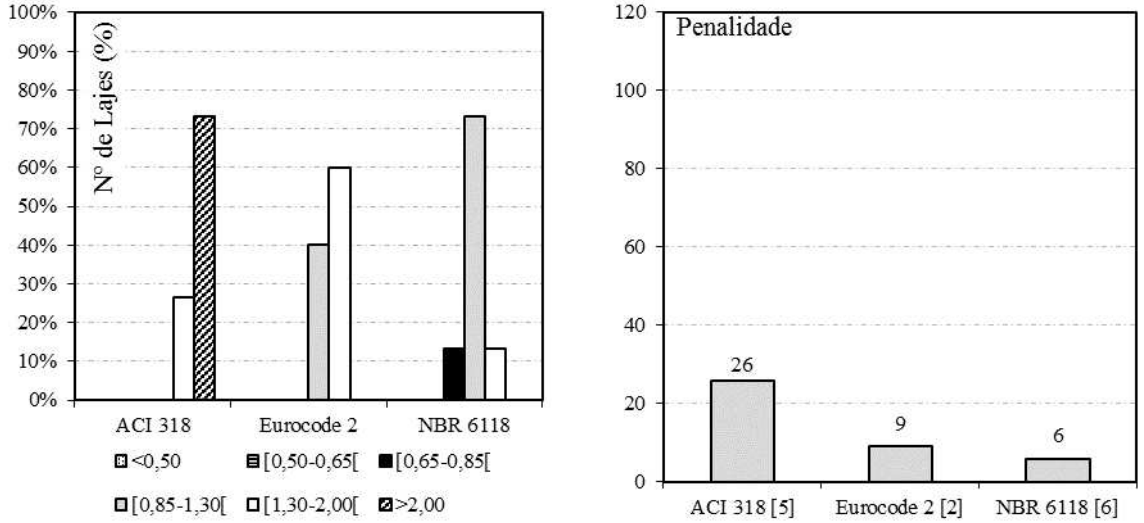
a) ACI 318 (2014)

b) EUROCODE 2 (2010)

Analisando a técnica de reforço dowel pelo Critério de Collins (ver Figura 11), pode-se perceber que a norma que melhor se adequou foi a NBR 6118 (2014), apresentando a menor média, no valor de 1,08, o coeficiente de variação foi de 16%, seus resultados predominaram nas faixas de Segurança Apropriada, mostrando ter um comportamento melhor se comparado ao sistema stich. A norma EUROCODE 2 (2010) também obteve resultados a favor da segurança, no entanto a mesma foi penalizada por possuir valores predominantemente na faixa Conservadora, embora a média obtida foi de 1,44 e o coeficiente de variação

de 12%. Já o ACI 318 (2014) obteve os piores resultados, pois se mostrou Extremamente Conservadora, sendo assim bastante penalizada, com uma média de 2,18 e um CV de 15%.

Figura 11 – Resultado do critério de Collins (2001), pelo sistema dowel.

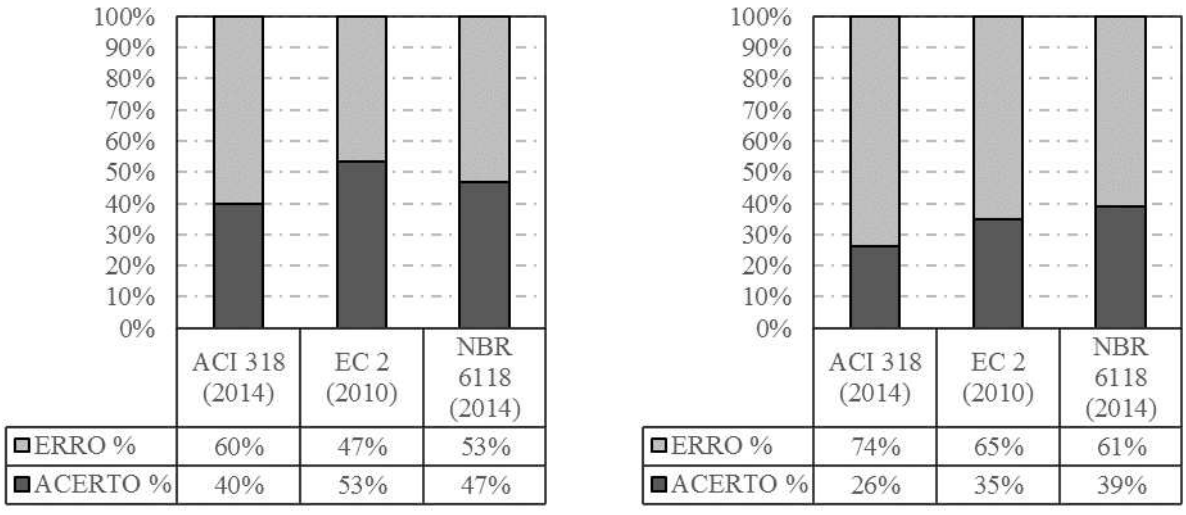


a) ACI 318 (2014)

b) EUROCODE 2 (2010)

A Figura 12 apresenta a estimativa do modo de ruptura das normas comparando-as com as encontradas experimentalmente. De um modo geral, as normas apresentaram uma grande porcentagem de erro para as duas técnicas de reforço, sendo, que as normas apresentaram menores estimativas de erro para a técnica dowel, em que a EUROCODE 2 (2010) foi a que apresentou a menor, cerca de 47%.

Figura 12 – Estimativa do modo de ruptura das normas para ambos os sistemas.



a) Dowel

b) Stich

4. CONCLUSÕES

Foi verificado o superdimensionamento em lajes lisas com este reforço, oriundo das normas técnicas: ACI 318 (2014), EUROCODE 2 (2010) e NBR 6118 (2014). Através das análises verificou-se que os resultados mais conservadores e que apresentaram maiores dispersões foram do ACI 318 (2014), pois a norma não leva em consideração fatores relevantes ao cálculo como a taxa de armadura de flexão e o size effect. Na sequência, a norma Eurocode 2 (2010) também apresentou resultados conservadores. Esta difere-se da

primeira norma ao utilizar o parâmetro size effect e a taxa de armadura de flexão, tendo apresentado uma menor dispersão e média. Além disso, verifica-se que as adaptações à NBR 6118 (2014) e ao EUROCODE 2 (2010) apresentaram uma boa correlação com os resultados experimentais justamente pela limitação de eficiência do reforço em 1,5 vezes a resistência à punção sem armadura de cisalhamento. Todas as adaptações das normas podem ser utilizadas com segurança para a verificação da resistência à punção em lajes lisas reforçadas com PRFC. Vale ressaltar que a adaptação da a norma brasileira NBR 6118 (2014) foi a que obteve melhor desempenho apresentando menor dispersão, menor média e escala de démerito avaliado pelo critério de Collins (2001), tendo a maior parte dos seus resultados na faixa de segurança, sendo assim, apresentando o melhor desempenho entre as adaptações avaliadas.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BUZZÁ, H. H. **Avaliação do efeito vascular da temperatura fotodinâmica empregando derivados de porfirina e clorina na membrana coriolantóica**. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ACI 318 (2014). **Building Code Requirements for Structural Concrete**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BINICI, **B.Punching shear strengthening of reinforced concrete slabs using fiber reinforced polymers**. PhD Thesis, University of Texas at Austin, USA, 2003, 284p.

BROMS, C. E. **Concrete Flat Slabs and footings: Design Method for Punching and Detailing for Ductility**. PhD Thesis. Departament of Civil and Architectural Engineering, Division of Structural Design and Bridges, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005, 114 pp.

COLLINS, M.P. (2001). **Evaluation of shear design precedures for concrete beams**. Master Thesis, Departamento of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Ottawa, July.

EN 1992-1-1/AC (2010). Corrigendum AC – Eurocode 2: **Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings**. CEN, EN 1992-1-1, Brussels, Belgium.

ERDOGAN, H. **Improvement of punching strength of flat plates by using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) dowels**. PhD Thesis, MiddleEastTechnicalUniversity, Ankara, Turkey, 2010, 224p.

NICACIO, W. G. (2013). **Reforço à punção em lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 15A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p

SANTOS, G. S. (2014). **Aplicação de Mantas de Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) como Reforço à Punção em Lajes Lisas de Concreto Armado**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-002A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 191p.

SISSAKIS, K., SHEIKH, S. **A. Strengthening Concrete Slabs for Punching Shear with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates**. ACI StructuralJournal, v. 104-S06, p. 49-59, 2007.