ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR PRÉ-MOLDADAS COM A UTILIZAÇÃO DE LUVAS ROSQUEADAS E BAINHAS GRAUTEADAS

BARROS, Luciana (1); FERREIRA, Marcelo (2); CHIARI, Victor (3)

(1) Engenheira Civil, UFSCar, lupaesbarros@gmail.com; (2) PPGECiv, UFSCar, marceloaferreira@uol.com.br; (3) Engenheiro Civil, Unicamp, victor.chiari@pentair.com

Resumo: *A crescente utilização do sistema estrutural em concreto pré-moldado traz consigo o surgimento de novas técnicas construtivas. No que diz respeito a este sistema estrutural, o desempenho das ligações viga-pilar tem relação direta com o comportamento da estrutura como um todo. Os diferentes métodos de concepção e montagem de ligações viga-pilar pré-moldadas justificam a importância em se discutir técnicas e elementos de emenda utilizados para este fim. Este artigo discorrerá sobre a construtibilidade e desempenho de luvas rosqueadas e bainhas grauteadas, quando utilizadas em ligações típicas viga-pilar. São comparados aspectos relativos ao uso de tais elementos na garantia da continuidade de armaduras negativas. A discussão tratou de dificuldades encontradas em obra, confiabilidade atrelada ao processo de montagem e aspectos de racionalização do uso de cada técnica. Buscou-se reunir características e, principalmente, dificuldades relativas à montagem de cada ligação, afim de colaborar não somente com a difusão de técnicas construtivas, bem como com a transição para novos sistemas, que permitam agregar maior caráter de racionalização às obras em concreto pré-moldado.*

Palavras-chave: *ligação viga-pilar, luva rosqueada, bainha, emenda mecânica, pré-moldado.*

Área do Conhecimento: *Características Tecnológicas e de Desempenho – Tecnologia de processos e sistemas construtivos.*

1 INTRODUÇÃO

A transformação da indústria da construção civil está intimamente ligada aos métodos construtivos, qualificação da mão-de-obra e aos sistemas construtivos disponíveis. Nem sempre é possível compatibilizar a evolução destes três sistemas, devido principalmente a fatores culturais, técnicos e financeiros. Com a crescente demanda mundial por celeridade nas construções, com obras de porte cada vez maior, a mudança do caráter manufatureiro da produção para um caráter industrial é irrefreável. As estruturas em concreto pré- moldado surgiram justamente com o intuito de racionalizar a produção e montagem de elementos estruturais, com a economia de fôrmas, mão-de-obra, tempo total de construção e oportunidade de padronização.

Tais estruturas se diferenciam do sistema estrutural em concreto armado moldado *in loco* pela necessidade de ligação entre seus elementos. No Brasil, há grande tradição de se projetar estruturas aporticadas e com núcleos rígidos sendo que, no primeiro caso, deve-se atentar para a concepção de ligações viga-pilar que resistam aos esforços solicitantes desenvolvidos. Para edifícios e galpões baixos, ou residências, as ações horizontais sobre a estrutura geralmente não ocasionam grandes deslocamentos e a estabilidade estrutural pode ser garantida por meio ligações viga-pilar articuladas. Em contrapartida, edifícios mais altos apresentam maior deslocabilidade e o uso de ligações rígidas ou semirrígidas se faz necessário.

A concepção, projeto e execução dessas ligações podem ocorrer das mais variadas maneiras, entretanto, determinar a rigidez resultante de uma ligação concebida com diversos materiais (aço, concreto, almofada de elastômero, etc.) não é um processo simples. Visando obter maior padronização dentre as ligações viga-pilar projetadas no Brasil e garantir confiança aos projetistas no momento do cálculo da rigidez das ligações, a ABNT NBR 9062:2017 apresenta, em sua revisão, seis ligações viga-pilar típicas e seus respectivos parâmetros de cálculo para obtenção da rigidez secante, por meio de equação simplificada. Nota-se que as tipologias sugeridas (Tabela 1 da ABNT NBR 9062:2017) possuem armadura negativa com continuidade garantida por meio de luvas rosqueadas ou bainhas. Este artigo tem o intuito de discutir os métodos construtivos envolvidos na montagem de ligações que utilizem tais elementos (luvas e bainhas), ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - (a) Ligação viga-pilar com furo para passagem de bainhas. (b) Ligação viga-pilar com usode luvas.



Fonte: (a) Kataoka (2007). (b) Autores (2017).

Na literatura técnico-científica nacional, poucos estudos são encontrados a respeito deste tema, além de haver grande escassez de diretrizes que tratem dos aspectos e métodos construtivos indispensáveis ao projeto e montagem de ligações utilizando luvas e bainhas. Deste modo, o artigo busca explorar o tema, apresentando técnicas construtivas, deficiências e dificuldades relativas à montagem dessas ligações, por meio da apresentação exemplos práticos e da revisão da literatura.

2 ELEMENTOS PARA CONTINUIDADE DE ARMADURA NEGATIVA

Existem diversos métodos de emenda de barras de aço disponíveis no mercado, elaborados em diferentes geometrias com o intuito de que projetistas possam adaptar seu uso a situações distintas. No caso de elementos pré-moldados de concreto, a aplicação de emendas não se restringe às ligações viga-pilar, sendo possível encontrá-las em ligações pilar-pilar, viga-transversina, em consolos falsos (de segunda etapa), no prolongamento de barras de aço, ou em locais onde há aberturas e a armadura virá em etapas posteriores, entre outras situações. Dentre os modelos de luvas, há as luvas rosqueadas tipo cônica e paralela, prensadas, de transição (suas extremidades possuem diâmetros distintos), e com acopladores e posicionadores para ajuste do comprimento final das barras. Algumas ilustrações desses modelos podem ser observadas no próximo item.

As bainhas não são elementos de emenda, todavia permitem a passagem das armaduras pelo interior de elementos pré-moldados, quando isto se faz necessário. Podem ser lisas ou corrugadas, geralmente fabricadas com lâminas de aço de pequena espessura. As bainhas devem possuir estanqueidade garantida para evitar obstruções indesejadas. Quando esses elementos são preenchidos com graute, a aderência entre o graute, armadura e bainha deve proporcionar o comportamento conjunto dos materiais, garantindo a continuidade da armadura negativa.

Algumas vantagens atreladas ao uso de luvas rosqueadas elencadas por Chiari, Colarusso e Calçavara (2016) são:

- Minimização do congestionamento de armaduras e do desperdício de aço originado com o traspasse;
- Independem da capacidade resistente do concreto para cumprir a função de emenda;
- Permitem a emenda de barras com diferentes diâmetros;
- Instalação limpa, segura e rápida;
- Permitem a utilização total da capacidade resistente das barras de aço;
- Redução da possibilidade de fissuras no concreto na região da emenda;
- Redução da mão-de-obra necessária;
- Apresentam bom efeito de continuidade entre as barras.

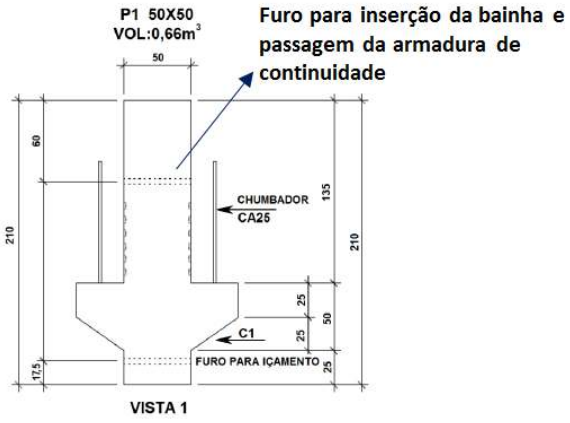
De maneira geral, a maior vantagem relacionada ao uso de bainhas, destacada por profissionais do meio, é devido a seu menor custo de aquisição por unidade. Outras características relativas ao uso desses elementos e à construtibilidade associada aos mesmos serão abordadas no próximo item.

3 MÉTODO CONSTRUTIVO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR PRÉ-MOLDADAS COM USO DE LUVAS E BAINHAS

O projeto de ligações viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto é imprescindível, já que sempre será necessário executá-las. Durante a concepção dos projetos, deve-se considerar tanto o processo de produção, como a montagem e o desempenho da ligação ao longo da vida útil da estrutura. De modo que a ligação é responsável por transmitir esforços solicitantes entre elementos estruturais, o cálculo da capacidade resistente dessas regiões é indispensável, uma vez que as ligações devem sempre resistir pelo menos ao total de esforços transmitidos entre elementos.

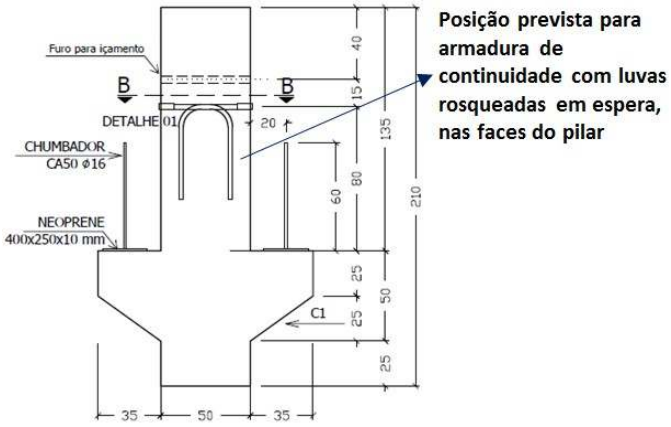
Tanto as ligações viga-pilar com uso de bainhas como as com uso de luvas rosqueadas serão resistentes a momentos fletores, e em estruturas aporticadas, esses esforços compreendem momentos fletores negativos. O posicionamento das emendas mecânicas para continuidade de armadura resistente a momentos negativos deve ser na região superior da ligação. Tal posição é determinada na etapa de projeto e é função da altura útil da viga, como se observa nas Figura 2 e Figura 3. O elemento escolhido para emenda é opção do projetista, sendo função da facilidade de execução, custos envolvidos e familiaridade da mão-de-obra com o método de montagem. De maneira geral, exemplos de projeto e aplicação dessas ligações não são disponibilizados para o público de interesse e, no Brasil, atualmente, não há manuais ou guias de projeto que tragam orientações e referências técnicas para a concepção de tais ligações. Os manuais de ligação da *fib* Bulletin 63 (2008) e PCI Connections Manual (2008) trazem exemplos de aplicação de luvas e bainhas. Entretanto, pouco se aplica a ligações viga-pilar, sendo os exemplos em sua maioria referentes às ligações pilar-fundação.

Figura 2 - Locação da bainha em projeto de pilar pré-moldado



Fonte: Hadade (2016).

Figura 3 - Locação de luvas rosqueadas em espera da armadura de continuidade negativa



Fonte: Autores (2017).

A emenda por meio de luvas independe da capacidade resistente do concreto que compõe os elementos estruturais. O aço utilizado na produção das é de alta resistência de maneira que a falha por ruptura do aço à tração ocorra nas barras, e não nas luvas. Todavia, em geral, as luvas possuem superfície lisa acentuando o efeito de escorregamento entre aço e concreto, ou da perda de aderência aço-concreto. Assim, ainda que o concreto não interfira diretamente no desempenho das luvas, suas características influenciam no comportamento da ligação como um todo.

Quando se opta pelo uso de bainhas, é necessário dedicar atenção especial ao graute utilizado. De acordo com Einea, Yamane e Tadros (1995) emendas preenchidas por graute já eram utilizadas nas duas décadas prévias a seu estudo, na América do Norte, Europa e Japão, para ligação de elementos em concreto pré- moldado. As armaduras são posicionadas nas bainhas e o espaço restante é preenchido posteriormente com graute. Naquela época, as bainhas disponíveis eram produtos patenteados e pouco se sabia sobre suas propriedades de confinamento e capacidade resistente. Os autores buscaram investigar a viabilidade do uso de bainhas grauteadas genéricas para emenda de barras de aço.

O estudo de viabilidade realizado por Ling, Ahmad e Ibrahim (2014) encontrou, para diferentes tipos de bainha grauteada, modos de falha por aderência barra-graute (Figura 3a), aderência graute-bainha (Figura 3b), ruptura por tração da bainha (Figura 3c) e ruptura por tração das barras de aço emendadas (Figura 4d), concluindo que tais fatores devem ser levados em conta no momento de projeto desse tipo de emenda mecânica.

Figura 4 - Modos de falha em bainhas grauteadas: (a) Falha por aderência barra-graute; (b) Falha por ruptura à tração da armadura; (c) Falha por ruptura à tração da bainha; (d) Falha por aderência graute-bainha.



Fonte: Ling, Ahmad e Ibrahim (2014).

O grauteamento das bainhas constitui uma etapa chave na montagem da ligação, e pode ser ilustrado por meio da Figura 5. É importante garantir que sua distribuição seja uniforme no interior da bainha, sem a existência de vazios. Este deve possuir boa fluidez e preferencialmente, deve se auto nivelar.

Figura 5 - Grauteamento de bainha: inserção do graute, furo das bainhas e armadura já grauteada (da esquerda para direita).



Fonte: Kataoka (2007).

Hadade (2016) sugeriu o preenchimento dos nichos através da técnica de vasos comunicantes. Apesar de simples, a técnica se mostrou eficiente e seu esquema encontra-se ilustrado na Figura 6. Foram posicionadas quatro pequenas caixas de madeira nas duas faces do pilar onde se iniciavam e terminavam os nichos. Segundo Hadade (2016), duas destas caixas eram destinadas a receber o graute em estado líquido, que atravessava o pilar e estacionava nas caixas da face oposta do pilar, na mesma altura das primeiras.

Figura 6 - Preenchimento das bainhas com graute por meio de vasos comunicantes

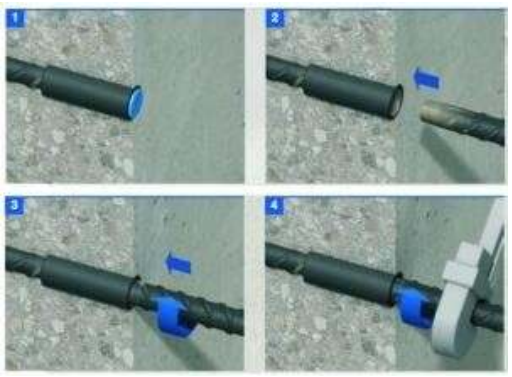


Fonte: Hadade (2016).

Ao comparar os aspectos relativos ao controle de qualidade da emenda por luvas *x* bainhas, nota-se que a etapa de grauteamento das bainhas diminui o controle de qualidade do serviço executado. A falta de cuidado durante o preenchimento dos nichos acarreta em grandes chances de ocorrência de vazios ou heterogeneidade na distribuição da argamassa no interior da bainha. Isso compromete diretamente o desempenho e o comportamento estrutural da ligação. As luvas rosqueadas são dispositivos industrializados, com alto índice de conformidade do material (aço) utilizado. Este aspecto positivo elimina a necessidade de uma etapa de controle de qualidade na montagem, bastando que a mão-de-obra instale as luvas na posição correta, com o aperto determinado, conforme especificação de projeto. Quanto à construtibilidade, as luvas rosqueadas também apresentam vantagem, pois eliminam a tarefa de grauteamento das bainhas.

É importante notar que o número de bainhas e luvas a serem utilizadas deve ser determinado em fase de projeto, bem como sua locação nos pilares e vigas, para o preparo correto das fôrmas dos pilares, que serão concretados com esses elementos já em posição final. Para garantir a continuidade da armadura negativa, é necessário seguir rigorosamente um gabarito, de modo que as barras provenientes de uma das vigas, estando amarradas a face superior dos estribos, encontrem no seu eixo o elemento de emenda em espera no pilar. Como as bainhas são sempre de diâmetro superior às barras, existe uma tolerância de espaço para passagem das barras, e ainda é possível posicioná-las atravessando o pilar caso haja um erro (dentro da tolerância proporcionada pelo diâmetro da bainha) entre a altura do eixo da armadura negativa e da bainha. No caso das luvas, essa tolerância é quase inexistente. É imprescindível obedecer aos gabaritos e realizar a conferência da altura dos estribos das vigas, e dos furos no pilar, para emenda das barras. Assim, a armadura provenientes das vigas deve encaixar perfeitamente nas luvas em espera (no pilar) de modo que possa ser rosqueada (Figura 7).

Figura 7 - Posicionamento e rosqueamento das barras em luvas de espera



Fonte: https://www.masterbuilder.co.in/reinforcement-bar-couplers-the-technology-for-present-future/ (Acessado em 20/05/2017).

Há diversos tipos de luvas disponíveis no mercado e o formato de suas roscas se difere entre cônica ou paralela. As roscas paralelas seguem o diâmetro da barra e, por isso, o encaixe entre luva e barra depende de um alinhamento muito preciso entre esses elementos. As roscas cônicas possuem o formato de um cone, que limita o aperto da barra ao final do comprimento do cone, reduzindo consideravelmente a possibilidade de espanamento. A Figura 8 apresenta os formatos de rosca paralela e cônica.

Figura 8 - Tipos de roscas: (a) Rosca cônica confeccionada na luva e na barra de aço; (b) Rosca paralela confeccionada na luva e na barra de aço.

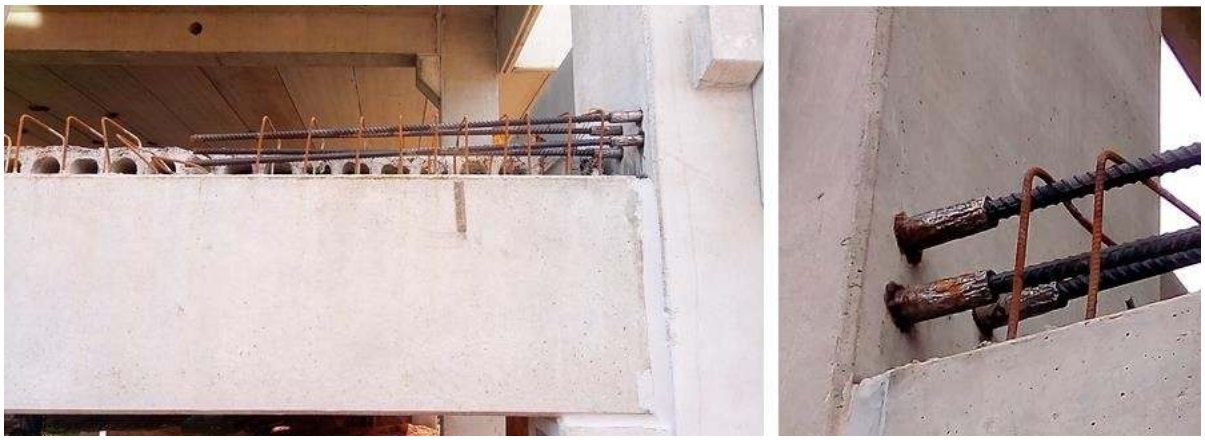


(a) (b)

Fonte: (a) Lenton (2015); (b) Lenton (2017) (em fase de elaboração).

Usualmente, é necessário que as duas barras conectadas possam girar para serem rosqueadas. Todavia, há acopladores que solucionam o problema quando uma das barras está fixa e não pode girar, ou quando se necessita de ajuste no comprimento da barra. Essa solução proporciona maior construtibilidade à ligação. O mercado oferece ainda modelos de luvas rosqueadas e prensadas. O uso de luvas rosqueadas e prensadas apresenta como desvantagem a necessidade de uma etapa adicional de serviço, a prensa. Esta é realizada por uma prensa hidráulica acionada por bomba elétrica. A prensa pode ser realizada em obra ou na fábrica fornecedora das luvas. Para luvas prensadas sem rosca, é necessário que haja espaço suficiente para o acesso às barras, respeitando os espaçamentos mínimos determinados pelo fabricante, pois todo comprimento da luva deve ser prensado. A Figura 9 apresenta um exemplo de luva prensada com acoplador rosqueado, utilizada em obra de estrutura em concreto pré-moldado.

Figura 9 - Aplicação de luvas rosqueadas e prensadas em obra (obra da empresa Protendit em São Carlos, SP)



Fonte: Autores (2017).

Figura 10 - Uso de prensa hidráulica para confecção de luvas prensadas



Fonte: Rudloff (2016).

A execução das emendas mecânicas aqui tratadas não exige treinamento específico ou grande volume de mão-de-obra. O aperto das luvas é dado por meio de chave de grifo ou torquímetro. O uso da chave de grifo, especialmente em roscas paralelas, diminui a confiabilidade do processo, pois para roscas de fio fino pode ocorrer espanamento caso o aperto seja excessivo. Luvas com rosca cônica permitem que se perceba o aperto máximo necessário, quando o comprimento do cone chega ao final. O uso do torquímetro confere maior confiabilidade e controle de qualidade ao processo de rosqueamento.

Para os casos em que as luvas ou bainhas substituem emendas por transpasse, as vantagens em relação ao controle de qualidade, construtibilidade e desempenho têm ainda maior destaque. O transpasse de barras de aço se tornou um método tradicional para emenda de armaduras em especial devido ao equívoco de que é um método de emenda sem custos. O uso do transpasse consome tempo em termos de projeto e execução, podendo ocasionar na dificuldade de concretagem em regiões onde ocorra congestionamento de armadura. Além disso, o transpasse depende da integridade do concreto para a transferência de forças entre barras de aço. Assim, qualquer degradação do concreto pode afetar significativamente o comportamento da emenda.

Os sistemas de emenda mecânica independem da aderência aço-concreto para proporcionar o caminho de cargas adequado nas barras de aço. Ademais, não é necessário reduzir as dimensões das armaduras em função de evitar o congestionamento de barras, o que permite especificar diâmetros de armadura e seção transversal de pilares adequados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de emendas mecânicas já é corriqueira nas obras de infraestrutura em várias partes do mundo, principalmente em regiões como América do Norte e Europa. Entretanto, na América Latina a especificação de emendas mecânicas por luvas de aço em projetos de qualquer porte ainda precisa ser difundida, pois atualmente é utilizada somente em ocasiões especiais onde o traspasse não pode ser efetivamente aplicado. A falta de conhecimento acerca do comportamento do elemento de emenda, relação custo-benefício e a resistência à mudança de cultura e práticas em obras de engenharia civil constituem uma barreira à disseminação e pesquisa relativos às luvas rosqueadas.

As bainhas possuem um menor custo por unidade, porém as técnicas de grauteamento utilizadas não seguem um padrão, o que pode ocasionar em desperdício de tempo e material em obra. Ao comparar-se aspectos de construtibilidade, controle de qualidade e racionalização, o uso de luvas de aço apresenta vantagem em relação às bainhas. Isso se justifica pelo fato de ser um elemento de emenda produzido em indústrias, fora do canteiro de obras, com grande índice de conformidade e pouca necessidade de interferência da mão-de-obra do canteiro. A escassez de manuais, artigos e outros trabalhos que abordem a aplicação e técnicas construtivas para o uso de elementos de emenda é evidente. É relevante a necessidade de elaboração de diretrizes que auxiliem projetistas e construtores no momento de escolha e utilização das emendas para uso em ligações viga-pilar pré-moldadas. Assim, busca-se reduzir desperdícios, elevar os índices de confiabilidade do processo de produção das obras pré-moldadas e conferir maior caráter de industrialização a essas obras.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

CHIARI, V. G.; COLARUSSO, L.; CALÇAVARA, E. **Estudo de caso envolvendo a aplicação de luvas para emenda mecânica de elementos pré-moldados de concreto : Parque da Cidade – São Paulo**. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais**...2016

EINEA, A.; YAMANE, T.; TADROS, M. K. **Grout-filled pipe splices for precast concrete construction.** PCI Journal, v. 40, p. 82–93, 1995.

FIB BULLETIN 63. **Structural connections for precast concrete buildings**. Lausanne, Switzerland, 2008.

HADADE, M. Â. S. **Comportamento de ligações viga-pilar típicas com continuidade de armadura negativa em estruturas pré-fabricadas**. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, 2016.

KATAOKA, M. N. **Estudo da continuidade em ligações laje-viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto**. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal de São Carlos, São Carlos., 2007.

LENTON. **Taper Threaded Splices**, 2015.

LING, J. H.; AHMAD, A. B.; IBRAHIM, I. S. Feasibility study of grouted splice connector under tensile load. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 530–539, 2014.

PCI. **PCI connections manual for precast and prestressed concrete construction**. Chicago, IL, 2008.