

## **Avaliação da metodologia experimental e parâmetros de desempenho de luvas de aço para emendas mecânicas em estruturas de concreto**

*Evaluation of experimental methodology and performance parameters of couplers for mechanical splicing in concrete structures*

Victor Gustavo Chiari (1)

(1) Gerente de Desenvolvimento de Negócios América Latina, Pentair LENTON  
Rua Cenno Sbrighi, 45, Torre 2, 4º Andar, Água Branca, São Paulo/SP - CEP 05036-010

### **Resumo**

Este artigo teve como objetivo atestar o método experimental de resistência à tração e deslizamento da norma internacional ISO 15835:2009 para ensaios de luvas de aço que está sendo utilizado como referência principal de uma pesquisa de mestrado em desenvolvimento. De acordo com os resultados apresentados, verificou-se que todos os corpos-de-prova, com e sem emenda mecânica, atenderam a ABNT NBR 7480:2007 e a metodologia e instrumentação utilizadas se mostraram bastante eficientes. Verificou-se também que, de fato, a metodologia proposta na norma ABNT NBR 8548:1984 está bastante defasada se comparada com a norma ISO 15835:2009, inclusive nos parâmetros de desempenho avaliados, e deve ser revisada para que os projetistas estruturais possam ter mais confiabilidade na especificação das emendas mecânicas em seus projetos.

*Palavra-Chave: Emenda mecânica, resistência à tração, deslizamento, luva de aço*

### **Abstract**

The aim of this paper was to certify the experimental methodology of the tensile strength and slip based on ISO 15835: 2009 international standard for couplers, which is being used as the main reference for a master's degree research under development. According to the results, it was verified that all the specimens, with and without mechanical couplers, were in accordance with ABNT NBR 7480: 2007 and the test methodology and instrumentation used were quite efficient. It was also verified that, in fact, the test methodology proposed in ABNT NBR 8548:1984 is significantly out of step compared to ISO 15835: 2009, including performance parameters evaluated, and should be revised so that structural designers may be more reliable in specifying the mechanical couplers in their designs.

*Keywords: Mechanical splice, tensile strength, slip, coupler*

## **1 Introdução**

O aumento da produtividade é hoje essencial para a sobrevivência das empresas do setor da construção civil e o mercado precificou quanto quer pagar pelos empreendimentos. Por isso, as empresas somente conseguirão atingir margens saudáveis de rentabilidade apenas via a redução dos custos de construção. Na constante preocupação com o desenvolvimento da qualidade e da economia na indústria das edificações, tem-se a questão da pesquisa e de desenvolvimento técnico. Neste sentido, o estudo do comportamento estrutural possui uma grande importância, sendo uma condição básica para o desenvolvimento das inovações tecnológicas futuras.

As emendas de barras de aço correspondem a regiões de comportamento complexo, onde ocorrem concentrações de tensões, as quais podem ou não mobilizar deslocamentos e esforços decorrentes dos elementos por elas ligados, fazendo com que

haja uma redistribuição dos esforços ao longo da estrutura, interferindo no comportamento da mesma. Assim, o desempenho do sistema estrutural e o êxito nas suas aplicações estão relacionados com o desempenho das suas emendas.

Tem sido necessária a verificação do comportamento das emendas na análise estrutural devido ao aumento da complexidade dos cálculos e também insuficiência de dados confiáveis. Devido ao seu comportamento próprio, as emendas promovem a redistribuição dos esforços dos elementos e, ainda, a modificação dos deslocamentos finais. As falhas de certas ligações, frente a determinadas ações, podem provocar o colapso da estrutura. Os defeitos em sua execução podem originar esforços que provoquem falhas ou deslocamentos excessivos. O equacionamento dos fatores que interferem no comportamento de uma determinada ligação favorece o planejamento de futuros estudos experimentais e ainda mostra-se de grande utilidade no desenvolvimento de critérios de dimensionamento e detalhamento da referida ligação (FERREIRA, 1993).

Tradicionalmente as emendas das barras de aço são feitas por traspasse, solda ou pela aplicação de luvas de aço. A emenda por traspasse é uma solução já consolidada no mercado mundial e é mais utilizada para emendar barras de aço das estruturas de concreto armado, principalmente por ser o método menos dispendioso. Entretanto, as recentes atualizações nas normalizações Brasileiras e internacionais de projeto estrutural aumentaram consideravelmente a quantidade de barras necessárias para reforçar as estruturas de concreto, além de gerar um grande congestionamento na armadura devido ao aumento da quantidade de aço utilizado e da impossibilidade de se ter um controle de qualidade adequado devido sua execução depender exclusivamente do armador, transformando sua instalação num verdadeiro desafio.

Já as emendas soldadas, podem ser executadas como emenda de topo, como emenda por traspasse ou como emenda com cobre-juntas, sendo preferencialmente usada a solda do tipo autógena por pressão. Apesar de serem utilizadas em diversas obras, as emendas soldadas caíram em desuso nos últimos anos, principalmente devido à necessidade de mão-de-obra especializada, tempo requerido para execução e controle de qualidade bastante rigoroso.

Na contramão destes problemas, os projetistas de estruturas se esforçam para obter elementos mais compactos através da utilização de soluções cuja viabilidade técnico-econômica seja equivalente à rapidez necessária nas obras. Nesta linha, a utilização de emendas mecânicas por luvas de aço (Figura 1) se tornou um importante método para unir praticidade à celeridade desejada pelos construtores. Apesar de ainda serem pouco pesquisadas no Brasil, as luvas de aço tem sido muito utilizadas em obras de grande porte e estruturas pré-moldadas de concreto.

O sistema de emendas mecânicas por luvas é reconhecidamente a maneira mais eficaz para se emendar barras de aço e constitui-se em importante elemento para suprir as necessidades da construção civil para qualquer tipo de obra, seja ela uma nova construção ou necessidade de reforço de uma determinada estrutura. Um dos tipos mais comuns utilizados no Brasil são as luvas rosqueadas tipo cônica. Neste artigo serão exploradas as características técnicas deste tipo de emenda, além de expor obras no Brasil onde elas foram recentemente utilizadas. Serão apresentados também os

resultados de resistência à tração e deslizamento realizados no Laboratório de Concreto da Universidade Estadual de Campinas de uma pesquisa de mestrado em fase de desenvolvimento e os resultados dos testes em barras de aço de controle, testadas isoladamente, sem emenda, executados no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do Instituto Militar de Engenharia no Rio de Janeiro.

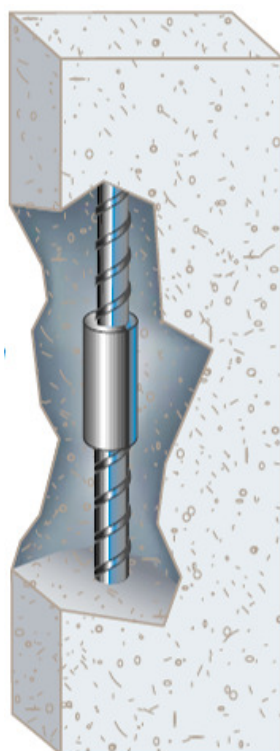


Figura 1 - Ilustração de uma emenda mecânica aplicada na união de uma barra de aço.

## 2 Utilização das emendas mecânicas no Brasil

### 2.1 Histórico de aplicação e normalização técnica

No início da década de 70, o setor da construção civil Brasileira enfrentava grandes desafios num mercado que demandava qualidade, competitividade e produtividade. Tais desafios poderiam ser equacionados a partir de uma abordagem de pesquisa que contemplasse alguns eixos fundamentais, tais como a adoção de tecnologias e metodologias inovadoras de projeto. Assim, a introdução de novas técnicas e ferramentas poderia trazer uma grande melhoria em diversas áreas de atuação das empresas construtoras, como a redução do desperdício de material e mão-de-obra.

A primeira obra que se tem registro onde as emendas mecânicas foram utilizadas é usina nuclear de Angra I, seguida por Angra II e a usina hidrelétrica de Itaipu. Em todas elas a luva de aço do tipo soldável foi utilizada, hoje em desuso no Brasil. Apesar de ser um material que carece de um “choque cultural” na engenharia civil Brasileira, existem atualmente diversos tipos de luvas para emendas mecânicas disponíveis no mercado. Todas as soluções possuem aplicações em diversas obras de infraestrutura, porém

principalmente a maior viabilidade técnico-econômica está relacionada às de grande porte, como usinas hidrelétricas, edifícios, metrô, barragens e estruturas pré-moldadas.

Entretanto, a falta de difusão deste assunto, bem como, a falta de consenso nas normas especializadas, ainda é bastante frequente encontrar no meio prático, soluções simplificadas, muitas vezes inseguras, baseadas em critérios empíricos utilizados sem maiores problemas no passado.

A demanda mundial pelos sistemas de emendas mecânicas de barras de aço é direta ou indiretamente dependente de uma série de exigências e conformidades relacionadas a normas técnicas ou requisitos específicos de um determinado projeto. Mundialmente, existe um grande número de normas técnicas relacionados a estes sistemas e a abrangência de cada uma delas varia de acordo com cada região.

Em março de 2017 foram lançadas duas importantes normas para a construção industrializada de concreto: a ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, que revisa a ABNT NBR 9062:2006, e a ABNT NBR 16475:2017 – Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos, sendo que ambas destacam a importância da ligação dos elementos pré-moldados de concreto em seu conteúdo. Enquanto a ABNT NBR 9062:2017 detalha e ilustra as luvas rosqueadas nas tipologias 3, 4 e 5 presentes no capítulo 5.1.2.10, mostrando-as como pontos fundamentais em ligações viga-pilar na obtenção da rigidez secante negativa nos pilares pré-moldados, a ABNT NBR 16475:2017 exemplifica através do capítulo 14.3 a ligação de painéis de paredes estruturais por luvas com graute.

Apesar da existência da ABNT NBR 8548:1984 - Barras de aço destinadas a armaduras de concreto armado com emenda mecânica ou por solda – Determinação da resistência à tração, ela está bastante defasada quanto à instrumentação e parâmetros de interesse a serem obtidos nos ensaios das emendas mecânicas. Conseqüentemente, as metodologias descritas nesta norma não oferece aos profissionais a confiabilidade necessária para elas sejam atestadas tecnicamente e especificadas de maneira segura nos projetos estruturais. A revisão da norma supracitada é iminente e deverá ser baseada em pesquisas acadêmicas atualmente em desenvolvimento com relação aos métodos de ensaio, além da análise de desempenho de processos, fabricação e controle de qualidade.

## 2.2 Luva rosqueada tipo cônica

Utilizada no Brasil desde a década de 90, a luva de emenda com rosca cônica (Figura 2) vem sendo utilizada com frequência em obras de edifícios, usinas hidrelétricas e elementos pré-fabricados, principalmente devido ao seu custo ser compatível com as emendas tradicionais por traspasse. Este tipo de luva é fabricado com rosca cônica em ambas as extremidades, criando uma junção mecânica para duas seções de barras aço e foi concebida para ser usada quando ambas as barras podem girar. As principais vantagens em se utilizar uma luva de emenda com rosca cônica é a grande facilidade de alinhamento, principalmente quando aplicada em grandes alturas, além de possuir seu custo final muito similar à emenda por traspasse à alta produtividade na produção das roscas.





Figura 2 - Lufa de emenda rosqueada tipo cônica (LENTON, 2011).

Todas as luvas de emenda de rosca cônica estão disponíveis para aplicação como união de barras de aço de qualquer diâmetro. Esta rosca normalmente é fabricada *in loco* através de uma máquina rosqueadeira e, para que o controle de qualidade seja realmente atribuído a esta solução, a utilização de um torquímetro é imprescindível. A Tabela 1 resume as características da luva rosqueada tipo cônica em comparação com outros tipos de luva disponíveis e utilizadas nas obras de infraestrutura no Brasil atualmente.

Tabela 1 - Características técnicas de luvas de aço utilizadas no Brasil.

Tipo de luva	Rosqueada tipo cônica	Rosqueada tipo paralela	Parafusada	Prensada
Preparação da ponta da barra de aço	Sim	Sim	Não	Não
Custo	\$\$	\$\$	\$\$\$\$\$	\$\$\$
Equipamento para instalação	Rosqueadeira	Rosqueadeira	Pneumática	Prensa
Espaço necessário para máquina (m <sup>2</sup> )	1,5	2,5	-----	-----
Manutenção	Média	Média	Baixa	Alta
Alinhamento do conector com a barra de aço	Fácil	Difícil	Fácil	Médio
Velocidade de instalação	Rápido	Rápido	Muito rápido	Lento
Tempo estimado para instalação	2 minutos	3 minutos	1 minuto	5 minutos

### 2.3 Aplicações recentes no Brasil

Mesmo com a escassez de informações técnicas, literatura e pesquisas acadêmicas referentes à especificação e utilização das luvas de aço no Brasil, esta solução vem sendo aplicada com frequência em obras de infraestrutura de grande porte como edifícios, obras de arte e estruturas pré-moldadas. A Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7 mostram detalhes de instalação e vistas de obras importantes realizadas recentemente no Brasil como a Arena do Tênis do Parque Olímpico do Rio de Janeiro e o complexo Parque da Cidade em São Paulo, cujos detalhes de projeto foram apresentados por CHIARI *et al.* (2016).



Figura 3 – Detalhe de utilização das luvas de aço rosqueada tipo cônica no Centro Paralímpico Brasileiro em São Paulo (2014).



Figura 4 – Estrutura mista de um edifício comercial com as luvas de aço instaladas na estrutura de concreto no Rio de Janeiro (2015).



Figura 5 - Vista frontal da Arena do Tênis do Parque Olímpico do Rio de Janeiro durante a construção, gentilmente cedido por Monteiro Gomes Engenheiros Associados (2015).



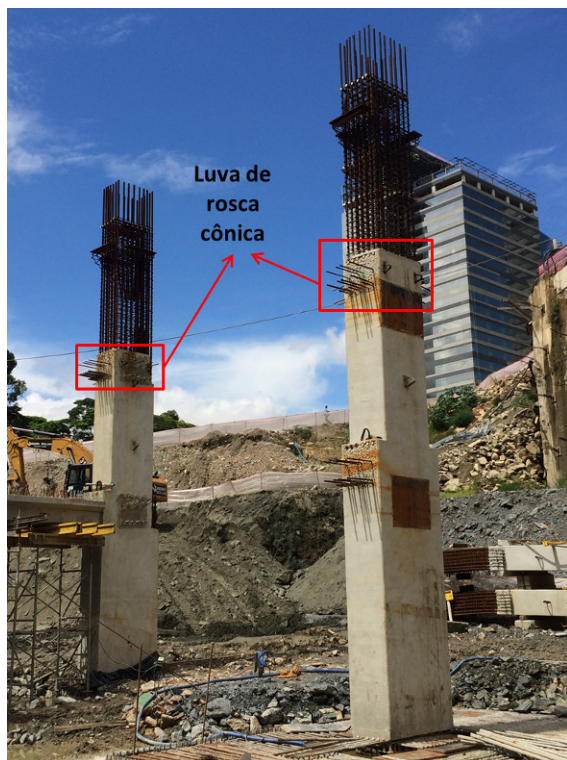


Figura 6 – Detalhe da aplicação das luvas nos pilares pré-moldados do subsolo do complexo Parque da Cidade São Paulo (2015).



Figura 7 – Vista lateral do shopping center do complexo Parque da Cidade São Paulo (CHIARI *et al.*(2016)).

### 3 Parâmetros de desempenho de uma emenda mecânica

Devido aos requisitos de resistência mínimos de uma emenda, geralmente se assume no projeto que a presença de uma emenda mecânica ou duas barras de reforço não resulta na redução de uma resistência estrutural, da rigidez ou da ductibilidade do aço de reforço. As normas regulamentadoras de projeto cobrem os requisitos para emendas soldadas ou mecânicas, mas geralmente não especificam como evitar fragilidades potenciais que possam ser diretamente atribuídas aos detalhes específicos ou materiais de uma emenda mecânica.

Os desenhos de projeto e especificações devem definir claramente o(s) tipo(s) de emenda, localizações e requisitos técnicos (por exemplo, emenda por traspasse *versus* emenda mecânica, emenda resistente somente aos esforços de tração *versus* emenda resistente aos esforços de tração e compressão), bem como os respectivos métodos de instalação. Os projetos devem definir as especificações dos tipos de emenda e as opções disponíveis no mercado, bem como considerar a construíbilidade individual de cada uma.

Sabe-se que os ensaios mecânicos servem para se conhecer as características dos materiais de modo a poder projetar componentes de tal maneira que, quando em serviço as deformações não sejam excessivas e não causem fratura. O comportamento mecânico de uma emenda mecânica reflete a relação entre a sua resposta ou deformação a uma carga ou força aplicada. Por caracterizar uma emenda contínua, quando ela é submetida a esforços de tração, determina-se o limite de proporcionalidade a partir do momento que

o ponto onde ocorre o afastamento da linearidade na curva tensão versus deformação, definindo assim a tensão limite de escoamento e o fim de regime elástico.

Após esta fase, a tensão necessária para continuar a deformação plástica aumenta até um valor máximo e então diminui até a fratura do material. Para as barras de aço, cuja deformação plástica possui alta capacidade, o diâmetro do corpo de prova decresce rapidamente ao ultrapassar este ponto máximo e assim a carga necessária para continuar a deformação, diminui até a ruptura final. O limite de resistência à tração é definido, então, pela tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação e é a máxima tensão que pode ser sustentada por uma estrutura que se encontra sob tração. Portanto, definir a resistência à tração de uma barra de aço com aplicação de emendas mecânicas é de suma importância e é o principal parâmetro considerado nos projetos estruturais.

A ABNT NBR 7480:2007 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação, que rege as características da barra de aço determina que a resistência característica de escoamento  $f_y$  para um aço CA 50 deve ser no mínimo 500 MPa, enquanto que a tensão na ruptura  $f_{st}$  mínima imposta é de 540 MPa (108%  $f_y$ ).

O deslizamento (*slip*, na sigla em inglês) consiste em determinar o deslocamento entre a emenda mecânica e a barra de aço, ao qual se mede uma extensão permanente do corpo de prova após ser carregado. Este parâmetro está relacionado com a fissuração do concreto e normalmente é considerado nos projetos estruturais principalmente em locais onde a ação de terremotos e desastres ambientais se tornaram fatos cada vez menos raros. O critério para determinação do valor máximo de deslizamento é baseado na norma de cálculo e/ou ensaio vigente em cada país ou região, cujo valor máximo estipulado é 0,10 mm, entretanto este parâmetro ainda não é considerado em nenhuma norma Brasileira de projeto.

## 4 Metodologia experimental

Foram realizados ensaios de resistência à tração em barras de aço de maneira isolada, sem emenda, no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do Instituto Militar de Engenharia (IME) no Rio de Janeiro e ensaios de resistência à tração e deslizamento em barras de aço emendadas com luvas rosqueadas tipo cônica no Laboratório de Concreto da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Todos os ensaios foram executados em máquina universal de tração. O diâmetro dos corpos-de-prova (barra de aço e luva de emenda) foi de 20 mm devido ao fato de, historicamente, seu custo ser compatível à emenda por traspasse, gerando maior interesse de utilização por parte dos projetistas de estrutura.

Como citado anteriormente, apesar da existência da ABNT NBR 8548:1984, a metodologia de ensaio lá sugerida é antiga e carece de revisão quanto à instrumentação, além de não considerar o parâmetro de deslizamento em seu escopo. Por isso, os ensaios deste trabalho foram realizados com base nas prescrições da norma internacional ISO 15835:2009, que possui bom detalhamento a respeito dos métodos de ensaio dos parâmetros a serem obtidos e do dimensionamento do corpo-de-prova. A instrumentação utilizada foi fundamentada na revisão da literatura de ensaios com características e interesses semelhantes à pesquisa desenvolvida.



#### 4.1 Dimensionamento do corpo-de-prova e instrumentação

De acordo com a Figura 8 extraída da norma internacional ISO 15835:2009, o comprimento total do corpo-de-prova com emenda mecânica que deve ser instrumentado é definido por  $L_g$  ( $L_1 + 8d$ ). Tal dimensão é variável e depende do comprimento da luva de emenda ( $L_1$ ) e do diâmetro da barra de aço. Além disso, a dimensão livre do corpo-de-prova na máquina universal de tração deve ser no mínimo  $400 + L$ . A Tabela 2 mostra todas as medidas consideradas nos ensaios.

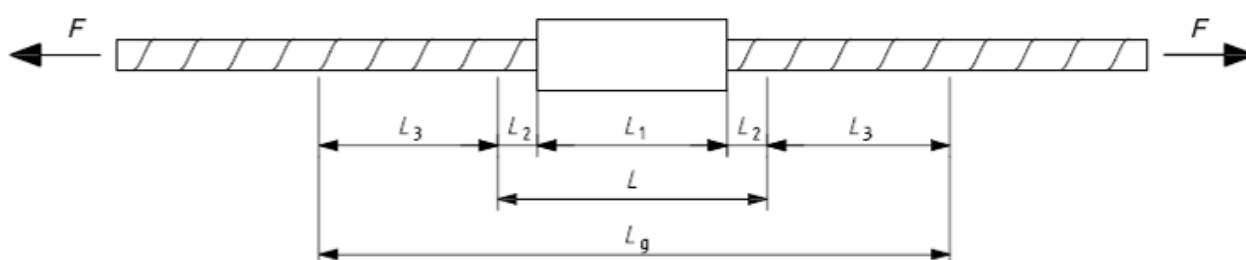


Figura 8 – Esquema para determinar o comprimento total do corpo-de-prova (ISO 15835:2009)

Tabela 2 – Características por especificação técnica da luva rosqueada tipo cônica.

Luva	d (mm)	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	L (mm)	$L_3$ (mm)	$L_g$ (mm)	Dimensão Livre (mm)
Rosqueada tipo cônica	Diâmetro	Comprimento da luva por especificação	$2d$	$L_1 + 2L_2$	$3d$	$L_1 + 8d$	$400 + L$
	20	72	40	152	60	232	552

Devido à falta de referências no Brasil no que diz respeito à instrumentação de barras de aço com e sem emenda mecânica, buscou-se na literatura internacional citações referentes a este tema. LING *et al.* (2012), CONNAH (2013), HABER *et al.* (2015) e SEO *et al.* (2016) adicionaram em suas pesquisas extensômetros elétricos e mecânicos com o intuito de coletar dados da deformação e deslocamento tanto da barra de aço quanto da luva de emenda, a fim de definir o valor total do deslizamento.

Para medir a deformação da barra de aço ensaiada isoladamente (barras de controle) foram inseridos dois *strain gages* no centro da barra. Foram realizados ensaios de resistência à tração para caracterizar a barra de aço de 20 mm, pois as barras emendadas por luva foram extraídas do mesmo lote de produção. Nos corpos-de-prova com luva de emenda foram inseridos quatro *strain gages*, sendo dois nas barras de aço a uma distância da face externa da luva de quatro vezes o diâmetro da barra e outros dois na própria luva, além de dois relógios e outros dois transdutores, totalizando oito medidores. Foram realizados também ensaios em barras de aço emendadas com a luva rosqueada tipo cônica de 20 mm. A Figura 9 e Figura 10 mostram o esquema da instrumentação utilizada nos ensaios desta pesquisa e a Figura 11 e Figura 12 os *strain gages* inseridos no corpo-de-prova.

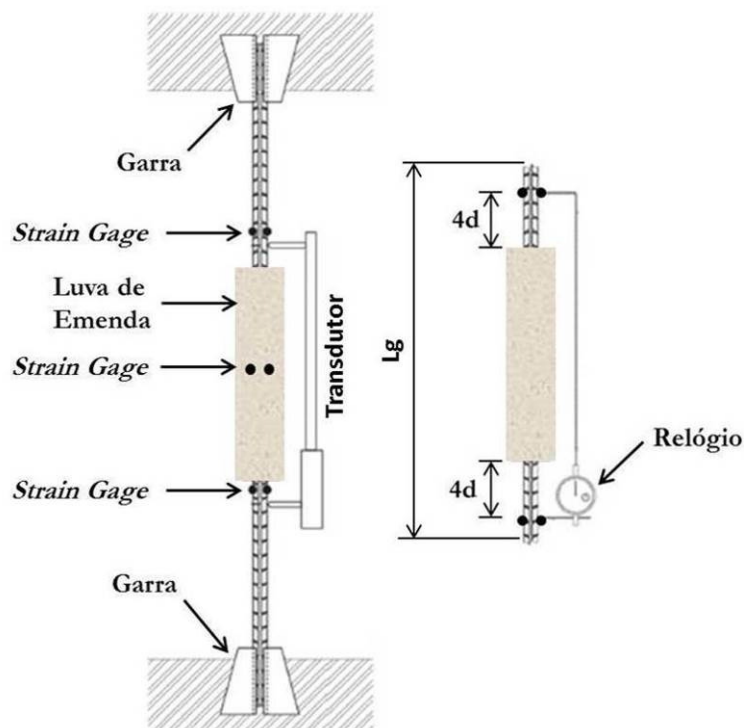


Figura 9 – Instrumentação utilizada nos ensaios de resistência à tração e deslizamento da barra de aço emendada por luva (adaptado de HABER *et al.* (2015)).

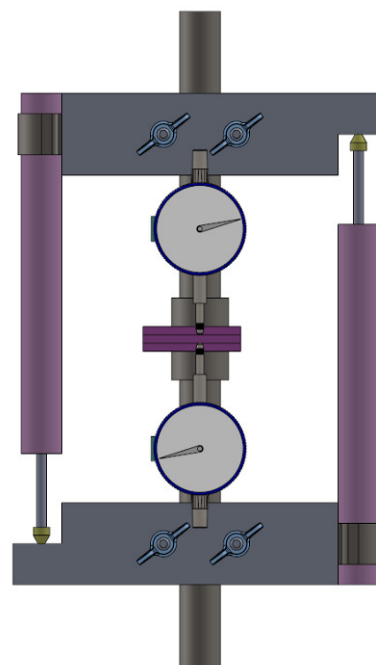


Figura 10 – Esquema da instrumentação com dois relógios (ao centro) e dois transdutores (laterais).

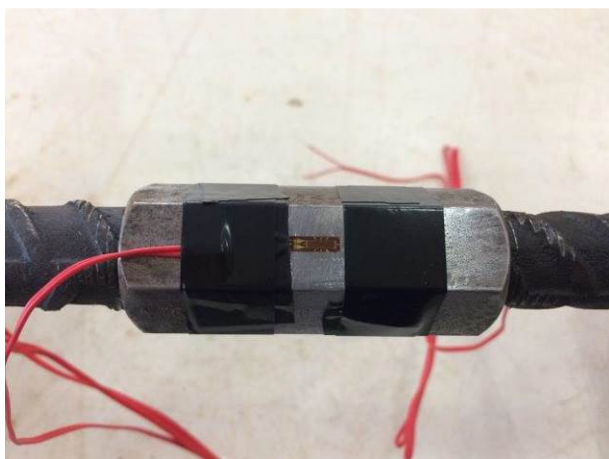


Figura 11 – Strain gage inserido no centro da luva.



Figura 12 – Strain gage inserido na barra de aço.

## 4.2 Ensaio de resistência à tração e deslizamento

O ensaio de resistência à tração das barras de controle foi feito baseado no método da ABNT NBR 6152:2002, carregando o corpo-de-prova até sua ruptura a fim de determinar sua resistência última  $f_{st}$ , além da resistência característica ao escoamento  $f_y$ . Para o parâmetro deslizamento, utilizou-se a norma internacional ISO 15835:2009 como referência carregando o corpo-de-prova por três ciclos a uma tensão equivalente a 60% da resistência característica ao escoamento nominal da barra de controle (300 MPa). A

velocidade de 200 MPa/min foi controlada manualmente e esteve abaixo da máxima permitida pela norma supracitada de 500 MPa/min. Ao final, o valor do deslizamento da barra em relação à luva de emenda foi determinado quando o esforço especificado foi alcançado após o terceiro ciclo de carga (Figura 13) por meio das leituras de deformação e deslocamento dos *strain gages*, relógios e transdutores utilizados. Após esta etapa, os corpos-de-prova foram carregados novamente até a ruptura, determinando a resistência à tração do conjunto.

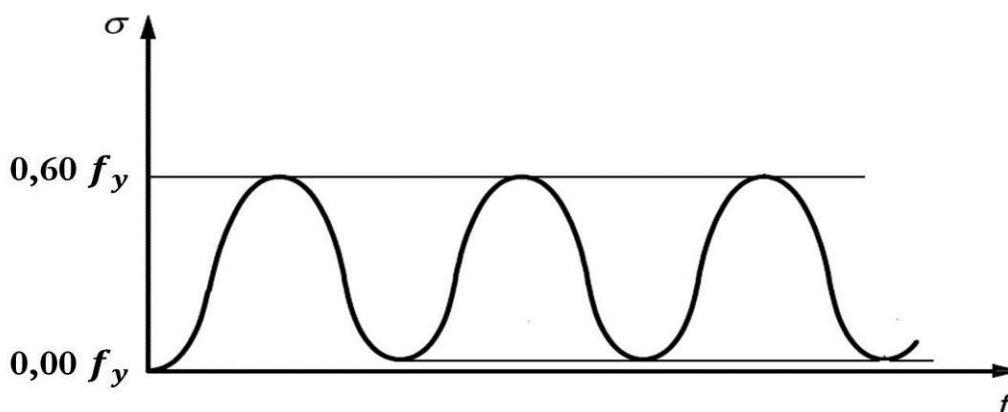


Figura 13 – Esquema dos ciclos de carga para determinação do deslizamento, modificado da norma internacional ISO 15835:2009.

## 5 Resultados e discussões

Foram realizados três ensaios em barras de controle de 20 mm de diâmetro, cujos resultados são apresentados na Tabela 3. A resistência característica ao escoamento foi em média 10% superior ao especificado na ABNT NBR 7480:2007, enquanto que a resistência última à tração foi, em média, 39% superior. Como já mencionado, todos os ensaios de caracterização das barras de controle foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do Instituto Militar de Engenharia no Rio de Janeiro em uma máquina universal de tração (Figura 14) e a ruptura ocorreu no centro da barra (Figura 15).

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à tração das barras de controle.

Corpo-de-prova	$f_y$ ensaio	$f_y$ mínimo ABNT NBR 7480:2007	$f_{st}$ ensaio	$f_{st}$ mínimo ABNT NBR 7480:2007	Modo de ruptura
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
BC-20mm-1	555	500	738	540	Barra de aço
BC-20mm-2	555		769		Barra de aço
BC-20mm-3	540		745		Barra de aço

A Figura 16 mostra as curvas tensão *versus* deformação de todas as barras de controle. Conforme se observa, as curvas possuem comportamento similar. Por outro lado, quando comparadas, verifica-se que a deformação do corpo-de-prova BC-20mm-2 é aproximadamente 8% inferior aos corpos-de-prova BC-20mm-1 e BC-20mm-3, cujos comportamentos são bastante semelhantes.



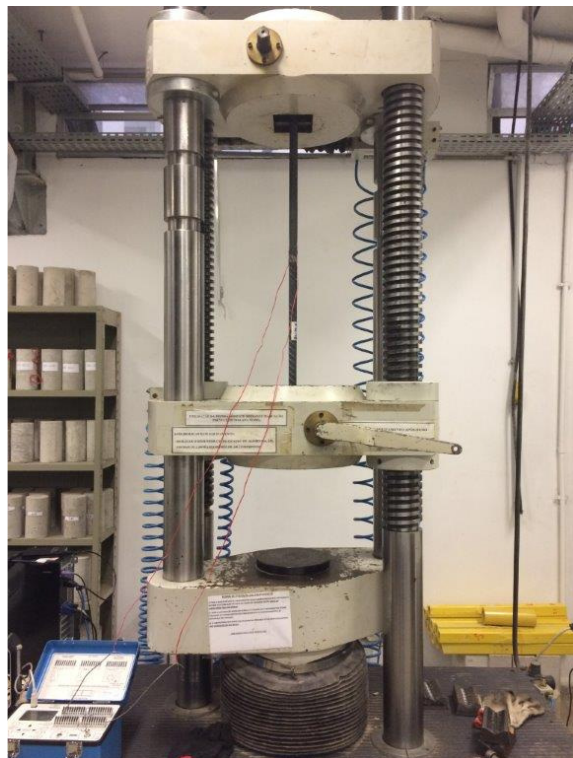


Figura 14 – Barra de controle inserida na máquina universal de tração do IME.

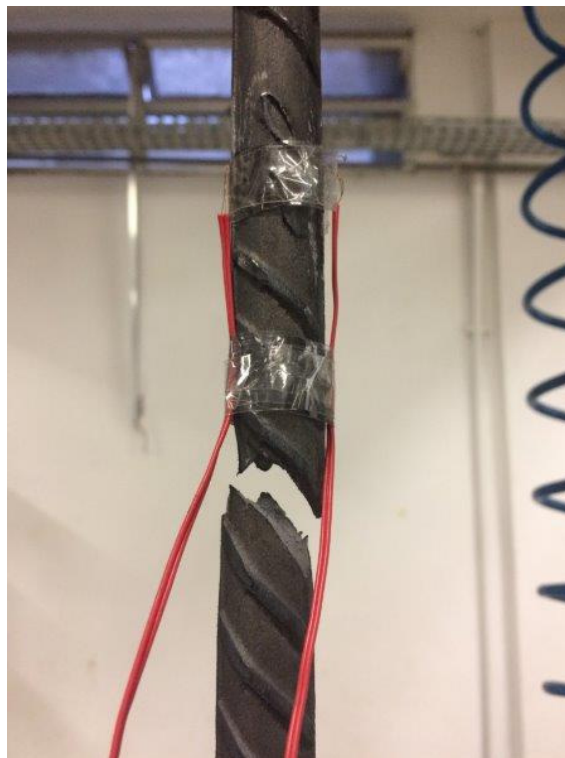


Figura 15 – Detalhe da barra de aço logo após ser submetida ao ensaio de resistência à tração.

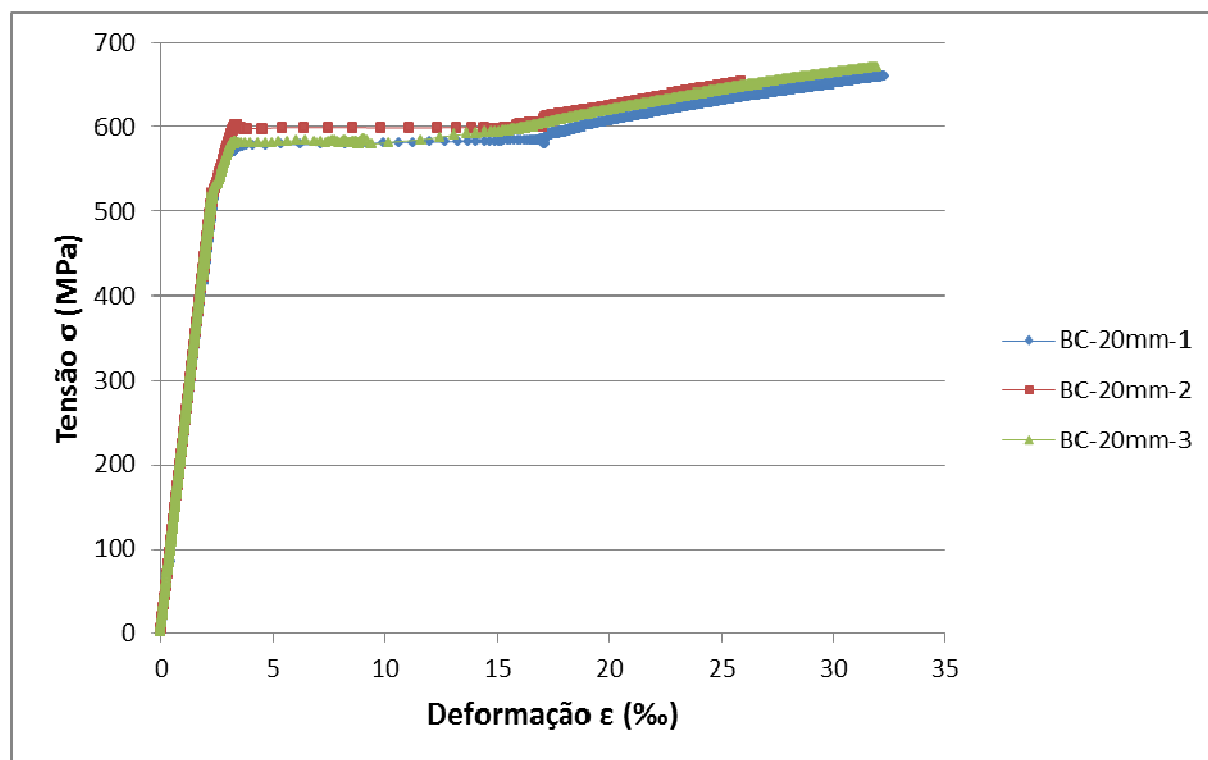


Figura 16 – Curva tensão *versus* deformação das barras de controle de 20 mm.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos três ensaios de resistência à tração e deslizamento realizados nos corpos-de-prova com a inserção de luva de emenda rosqueada tipo cônica. Observa-se que, apesar dos valores serem inferiores aos das barras de controle, todos atendem à ABNT NBR 7480:2007, mostrando a eficiência do sistema de emenda. Os resultados mostram a resistência característica ao escoamento e a resistência última à tração, em média, 8% e 20% superior à referida norma, respectivamente.

Verifica-se também que os valores do parâmetro deslizamento foram inferiores ao limite máximo especificado na norma internacional ISO 15835:2009 de 0,10 mm. A Figura 17 mostra o corpo-de-prova BC-20mm-1 devidamente instrumentado. Na Figura 18 observa-se com clareza a ruptura por arrancamento da barra rosqueada do interior da luva de emenda (totalmente intacta) devido ao alongamento deste trecho durante o carregamento.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de resistência à tração e deslizamento das barras com luvas de emenda.

Corpo-de-prova	$f_y$ ensaio	$f_y$ mínimo ABNT NBR 8548:1984	$f_{st}$ ensaio	$f_{st}$ mínimo ABNT NBR 8548:1984	Deslizamento	Modo de ruptura
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(mm)	
RC-20mm-1	534	500	631	540	0,089	Arrancamento
RC-20mm-2	560		686		0,090	Arrancamento
RC-20mm-3	519		627		0,092	Arrancamento



Figura 17 – Luva de emenda devidamente instrumentada e inserida na máquina universal de tração da UNICAMP.



Figura 18 – Detalhe da luva de emenda após ser submetida ao ensaio de resistência à tração e deslizamento.

A curva tensão *versus* deformação detalhada na Figura 19 ilustra todos os *strain gages* inseridos no corpo-de-prova. O E1 e E4 correspondem aos que foram inseridos na barra de aço e o E2 e E3 aos que foram colados na luva de emenda. Claramente é possível notar que a deformação do E1 e E4 é muito superior ao E2 e E3. É possível observar também que a leitura dos *strain gages* E1 e E4 são paralisadas a uma tensão inferior ao E2 e E3. Isto se deve ao fato do material de produção da luva possuir resistência superior ao CA 50 das barras de aço e, por este motivo, a luva de emenda não sofre nenhum dano no momento da ruptura. Apesar da dificuldade de visualização no gráfico (linhas mais espessas no início da leitura), os três ciclos de carga foram impressos ao corpo-de-prova para a determinação do deslizamento.

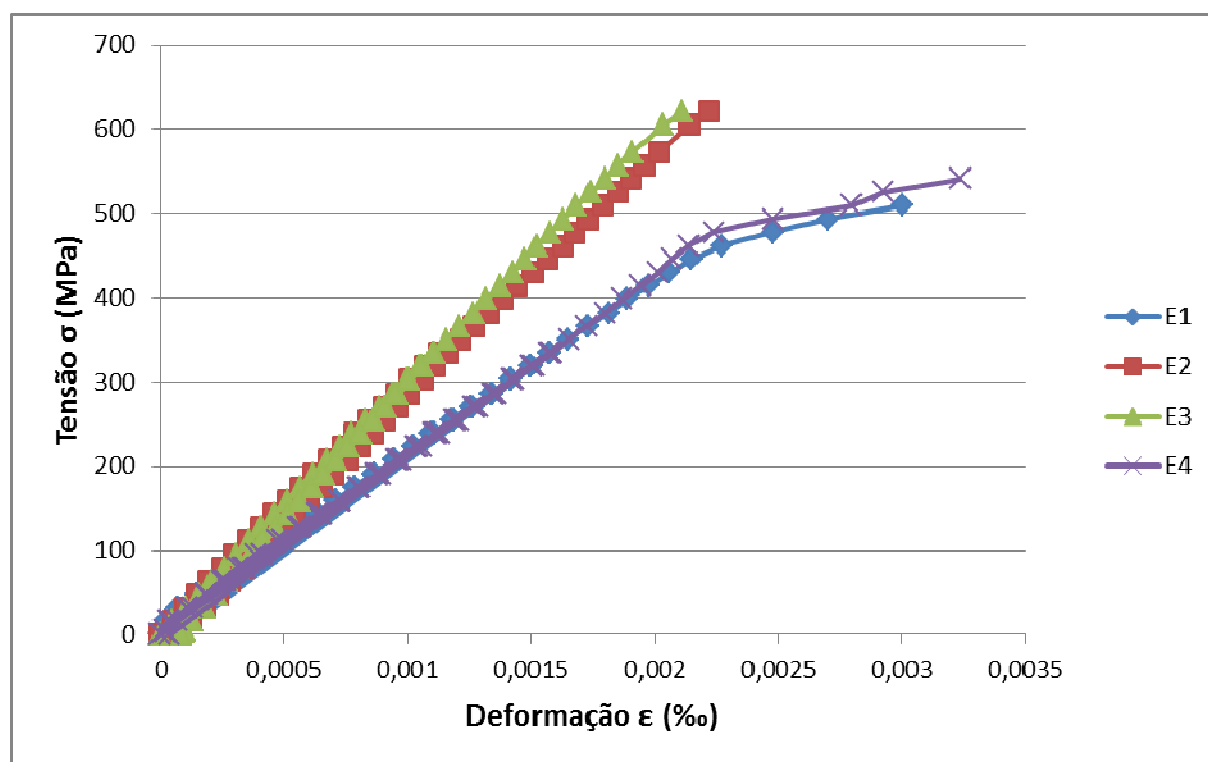


Figura 19 – Curva tensão *versus* deformação das leituras dos *strain gages*.

## 6 Conclusões

Com base nos ensaios realizados, verifica-se que as barras testadas atendem perfeitamente às exigências impostas em todas as normas estudadas neste trabalho. Por se tratar de uma norma internacional, todo o programa experimental (dimensionamento do corpo-de-prova e métodos de ensaio de resistência à tração e deslizamento) foi realizado com base na norma ISO 15835:2009 e os resultados mostraram-se bastante satisfatórios, pois todo o procedimento e métodos de ensaio presentes em seu escopo são de simples execução.

Para definir qual normatização seria seguida nesta pesquisa, foi realizado um comparativo entre todas as existentes nacional e internacionalmente, concluindo-se que a ISO 15835:2009 deveria ser a utilizada, pois além de possuir seus métodos de ensaio mais



detalhados, considera também o parâmetro deslizamento como premissa para atestar as emendas mecânicas. Por fim, verificou-se neste trabalho que a norma ABNT NBR 8548:1984 realmente está defasada e carece de revisão quanto à instrumentação e parâmetros de interesse a serem obtidos nos ensaios.

Em resumo, concluiu-se neste trabalho que:

- Deve-se implementar os métodos de ensaio de resistência à tração e deslizamento baseado na norma internacional ISO 15835:2009 para toda a pesquisa de mestrado;
- A instrumentação utilizada se mostrou bastante eficiente, obtendo-se dados suficientes para caracterizar a luva de emenda e determinar os parâmetros de resistência à tração e deslizamento;
- Realizar ensaios laboratoriais considerando outros tipos de luvas (prensadas, parafusadas e rosqueadas tipo paralela) e diâmetros distintos, com o intuito de verificar seu comportamento frente aos métodos sugeridos pela norma internacional 15835:2009;
- Especificar todos os tipos de emendas mecânicas disponíveis e utilizadas no mercado nacional atualmente em futuras revisões da norma ABNT NBR 8548, além de incluir o parâmetro deslizamento em seu escopo.

## **7 Agradecimentos**

O autor agradece o Instituto Militar de Engenharia e a Universidade Estadual de Campinas pela permissão em utilizar os laboratórios de concreto de ambas as instituições e, em especial, aos professores Luis Antonio Vieira Carneiro (IME) e Armando Lopes Moreno Junior (UNICAMP) pela transferência de conhecimento e total apoio. O autor agradece também as empresas Pentair LENTON pelo fornecimento dos materiais e de preciosas informações técnicas acerca dos métodos de ensaio aplicados e Arcelor Mittal pela doação de todas as barras de aço.

## **8 Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Barras de aço destinadas a armaduras de concreto armado com emenda mecânica ou por solda – Determinação da resistência à tração. ABNT NBR 8548. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente. ABNT NBR 6152. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. ABNT NBR 7480. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. ABNT NBR 9062. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. ABNT NBR 16475. Rio de Janeiro, 2017.

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

CHIARI, V. G., MORENO JR. A.L., HENNEBERT. C., Utilização de luvas para emenda mecânica de barras de aço para reforço de estruturas de concreto armado. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Porto, Portugal, 2016.

CONNAH, G. Prequalification of Mechanical Splices for Reinforcing Bars in Seismic Conditions. Australian Earthquake Engineering Society Conference, Hobart, Tasmania, Australia, 2013.

ERICO INTERNATIONAL CORPORATION. LENTON Taper Threaded Rebar Splicing Systems. Cleveland, EUA, 2011.

FERREIRA, M. A. Estudo de deformabilidades de ligações para análise libnear em pórticos planos de elementos pré-moldados de concreto. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARIZATION (ISO). Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 2: Test methods. ISO 15835-2. Geneva, Switzerland, 2009.

HABER, Z.B.; SAIIDI, M.S.; SANDERS, D.H. Behavior and simplified modeling of mechanical reinforcing bar splices. ACI Structural Journal March/April, 10 p. 179-189, 2015.

LING. J. H., RAHMAN, A. B. A., IBRAHIM, I., HAMID, J. H. Behaviour of grouted pipe splice under incremental tensile load. Construction and Building Materials 33, pp. 90-98, 2012.

SEO, S. Y., NAM, B. R., KIM, S. K. Tensile strength of the grout-filled head-splice-sleeve. Construction and Building Materials 124, pp. 155-166. 2016.